VICTOR AZEVEDO FARIA



COMPARAÇÃO DE TEOR DE CARBONO NO SOLO NO BIOMA CERRADO: RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS E INTEGRAÇÃO PECUÁRIA FLORESTA

LAVRAS – MG
2026

VICTOR AZEVEDO FARIA

COMPARAÇÃO DE TEOR DE CARBONO NO SOLO NO BIOMA CERRADO: RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS E INTEGRAÇÃO PECUÁRIA FLORESTA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável e Extensão, área de concentração em Sustentabilidade e Extensão, para cumprimento das exigências da disciplina PDS517 - Exame de Qualificação.

Orientadora
Prof. DSc. Marcela de Castro Nunes Santos Terra

Coorientador
Prof. DSc. Cassiano Garcia Roque

LAVRAS – MG
2026

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Faria, Victor Azevedo.
Comparação de teor de carbono no solo no bioma Cerrado: recuperação de pastagens degradadas e integração pecuária-floresta / Victor Faria Faria. - 2026.
46 p.

Orientadora: Marcela de Castro Nunes Santos Terra
Coorientador: Cassiano Garcia Roque

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal de Lavras, 2026.
Bibliografia.

1. Teor de carbono no solo. 2. Comparação de teor de carbono para diferentes sistemas produtivos. 3. Técnicas de fixação de carbono no solo. I. Terra, Marcela de Castro Nunes Santos. II. Roque, Cassiano Garcia. III. Universidade Federal de Lavras.
IV. Título.

VICTOR AZEVEDO FARIA

COMPARAÇÃO DE TEOR DE CARBONO NO SOLO NO BIOMA CERRADO: RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS E INTEGRAÇÃO PECUÁRIA FLORESTA

COMPARISON OF SOIL CARBON CONTENT IN THE CERRADO BIOME: RECOVERY OF DEGRADED PASTURES AND INTEGRATED LIVESTOCK-FORESTRY SYSTEMS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Sustentável e Extensão, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 26 de maio de 2026.
Dr. (a) Thiago Rodrigo de Paula Assis UFLA
Dr. (a) Job Teixeira de Oliveira UFMS
Dr. (a) Elaine Cristina Teixeira UFSJ

gov.br Documento assinado digitalmente
MARCELA DE CASTRO NUNES SANTOS TERRA
Data: 29/10/2026 11:41:51-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Orientadora
Prof. DSc. Marcela de Castro Nunes Santos Terra

Coorientador
Prof. DSc. Cassiano Garcia Roque

LAVRAS – MG
2026

RESUMO

O cerrado brasileiro é destaque na produção de grãos e criação de bovinos, para chegar no nível atual de intensificação dos cultivos foram necessárias algumas mudanças no uso da terra, que resultaram em significativas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Brasil. Frente a isso, tecnologias como a Recuperação de Pastagens Degradadas (RPD) e a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) são estratégias promissoras para mitigar essas emissões e melhorar a produtividade. O estudo propôs estimar e comparar o teor de carbono no solo entre diferentes sistemas produtivos (pastagens recuperadas, degradadas, integração pecuária-floresta e floresta adensada), além de verificar fatores que impactam no acúmulo de carbono. No estudo foram colhidas amostras deformadas de solo de cerca de 2880 hectares, nas profundidades de 0 a 0.20 m e 0,20 a 0,40 m, totalizando 278 amostras coletadas. Após emissão dos laudos, foi estimado o teor de carbono a partir da matéria orgânica presente na amostra, em seguida foi verificada a correlação do teor de carbono com a textura de solo e saturação de bases. Foi verificada a correlação significante e positiva entre teor de carbono e textura de solo e saturação de bases, sendo o primeiro mais importante. Deste modo, foi perceptível que solos mais argilosos tendem a acumular mais carbono, assim como solos com melhor condição química, ou seja, maior saturação de bases. Ademais, para a profundidade do estudo, os sistemas de produção não apresentaram grande influência no teor de carbono no solo, de modo que o manejo de solo pode apresentar maior significância para camadas mais superficiais, onde a maior parte da matéria orgânica está acondicionada.

Palavras-chave: gases de efeito estufa; teor de carbono; matéria orgânica.

ABSTRACT

The Brazilian Cerrado stands out for its grain production and cattle farming. Reaching the current level of crop intensification has required changes in land use, which have resulted in significant greenhouse gas (GHG) emissions in Brazil. In this context, technologies such as the Recovery of Degraded Pastures (RDP) and Integrated Crop-Livestock-Forestry (ICLF) systems are promising strategies for mitigating these emissions and improving productivity. This study aimed to estimate and compare soil carbon content among different production systems (recovered pastures, degraded pastures, integrated crop-livestock-forestry systems, and dense forest), as well as to assess factors affecting carbon accumulation. Soil samples were collected from approximately 2,880 hectares at depths of 0–0.20 m and 0.20–0.40 m, totaling 278 samples. Following the issuance of the soil analysis reports, carbon content was estimated based on the organic matter present in the samples. Subsequently, correlations between carbon content and soil texture and base saturation were evaluated. Significant and positive correlations were found between carbon content and both soil texture and base saturation, with soil texture being the more important factor. Thus, it was observed that more clayey soils tend to accumulate greater amounts of carbon, as do soils with better chemical conditions, that is, higher base saturation. Furthermore, within the soil depths evaluated in this study, the production systems did not have a substantial influence on soil carbon content, suggesting that soil management may have a greater effect in shallower layers, where most of the organic matter is stored.

Keywords: greenhouse gases carbon content; organic matter.

INDICADORES DE IMPACTO

O Mestrado Profissional em Desenvolvimento Sustentável e Extensão busca formar profissionais aptos a conduzir pesquisas e ações voltadas à implementação de novos processos de desenvolvimento, considerando não apenas o aspecto econômico, como também as questões sociais, ambientais, políticas e culturais. Soma-se a isso, o Projeto Rural Sustentável Cerrado (PRS-Cerrado), cuja parceria foi realizada com a Universidade Federal de Lavras, que possui como objetivo geral mitigar as emissões de GEE e aumentar a renda de produtores(as) no bioma Cerrado, promovendo a adoção de tecnologias produtivas de baixa emissão de carbono. Em geral, produtores do PRS-Cerrado têm dúvidas quanto à adoção de tecnologias que contemplem a baixa emissão de carbono. Além disso, vários empreendedores têm interesse na compensação das emissões de GEE, mas muitas incertezas a respeito dos pré-requisitos na implantação de cada tecnologia, além do potencial de compensação de cada uma. Desta forma, com o desenvolvimento do estudo, foi possível apresentar aos produtores uma melhor compreensão acerca de qual tecnologia é adequada para suas realidades, de modo a estocar carbono no solo e intensificar a produção de forma sustentável. Ademais, na propriedade onde foi desenvolvido o estudo já é realizada a compensação de emissões de gases de efeito estufa, por isso a pesquisa foi de grande valia para nortear os próximos passos das áreas produtivas da fazenda. Assim, com os dados obtidos, foi possível avaliar com maior certeza a viabilidade dos sistemas integrados, no que tange a fixação de carbono no solo, em relação às pastagens solteiras. Além disso, as informações de fertilidade de solo, juntamente com o teor de carbono auxiliam de forma ímpar nas tomadas de decisões da fazenda. Anteriormente o planejamento de reforma e recuperação de solos e pastagens era realizado de forma visual e as correções dificilmente eram precisas. A partir dos mapas e dados gerados, foi possível avaliar de forma técnica, por onde começar os trabalhos, visando retorno financeiro e conservação ambiental. Ademais, por ser uma Unidade Demonstrativa Especial do PRS-Cerrado, foram realizados dias de campo com produtores e estudantes locais, a fim de transmitir o conhecimento gerado. Por fim, deve-se destacar que a pesquisa pode ser uma importante ferramenta para auxiliar algumas políticas públicas no cumprimento de suas principais metas. De modo que o produtor rural, tendo mais facilidade na implantação das tecnologias desenvolvidas também para fixação de carbono, estará mitigando as emissões de GEE e, possivelmente, gerando uma maior receita por meio da intensificação da produção, auxiliando no cumprimento de alguns dos ODS como: fome zero e agricultura sustentável e ação contra mudança global do clima.

IMPACT INDICADORS

The Professional Master's Program in Sustainable Development and Extension aims to train professionals capable of conducting research and implementing actions focused on new development processes, considering not only the economic dimension but also social, environmental, political, and cultural aspects. In this context, the Projeto Rural Sustentável Cerrado (PRS-Cerrado), developed in partnership with the Federal University of Lavras, seeks to mitigate greenhouse gas (GHG) emissions and increase the income of farmers in the Cerrado biome by promoting the adoption of low-carbon production technologies. In general, farmers participating in PRS-Cerrado have questions regarding the adoption of technologies designed to reduce carbon emissions. In addition, several producers are interested in offsetting GHG emissions but face uncertainties regarding the requirements for implementing each technology, as well as the carbon offsetting potential associated with each one. Thus, the development of this study made it possible to provide farmers with a better understanding of which technology is most appropriate for their specific conditions, with the aim of increasing soil carbon stocks while sustainably intensifying production. Furthermore, GHG emissions are already being offset on the farm where the study was conducted. Therefore, this research was particularly valuable in guiding the next steps for the farm's productive areas. Based on the data obtained, it was possible to assess with greater confidence the feasibility of integrated production systems with regard to soil carbon sequestration in comparison with single-species pasture systems. In addition, soil fertility information, together with soil carbon content data, provides valuable support for farm management and decision-making. Previously, the planning of soil and pasture renovation and recovery was carried out primarily through visual assessment, and soil amendments were rarely applied with a high degree of precision. Based on the maps and data generated by this study, it was possible to technically assess which areas should be prioritized for intervention, with the dual objective of achieving financial returns and promoting environmental conservation. Moreover, because the study site is a Special Demonstration Unit of PRS-Cerrado, field days were organized for local farmers and students to disseminate the knowledge generated by the research. These activities contributed to the exchange of knowledge and to raising awareness of sustainable production practices and low-carbon technologies among local stakeholders. Finally, it is important to emphasize that this research can serve as an important tool to support public policies in achieving their main goals. By facilitating farmers' adoption of technologies that also contribute to carbon sequestration, the research can support the mitigation of GHG emissions and potentially increase farm income through production intensification. In this way, the study contributes to the achievement of several Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture) and SDG 13 (Climate Action).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO…….. 8

2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS…….10

3 REFERENCIAL TEÓRICO……...10

4 MATERIAIS E MÉTODOS…….....12

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO…….12

4.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS……...……23

5 INCLUSÃO SOCIAL DO PROJETO……...26

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO…….……27

6.1 ANÁLISE DA FERTILIDADE DO SOLO…….. 27

6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS…..……..……..32

7 CONCLUSÃO……..41

6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO...……..43

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo bioma do Brasil em extensão e biodiversidade (GUEDES, 2012), e responde por 60% da produção de grãos no país (ANDRADE et al. 2017). Ademais, o bioma Cerrado possui, atualmente, 44% do rebanho bovino brasileiro e cerca de 60 milhões de hectares de pastagem e, somado ao bioma Pantanal, é responsável por mais da metade da produção pecuária do país (SOUSA, 2017). Para atingir este nível produtivo, foi necessário um processo de expansão agrícola do bioma, no qual houve intensa abertura de novas áreas, culminando em grandes regiões desmatadas e com solos degradados. Segundo Sano et al. (2010), cerca de 39% da vegetação natural do bioma passou por alterações, com destaque para a região sul que possui apenas 15% da vegetação nativa.

Com a abertura de novas áreas, a principal atividade agrícola desenvolvida sempre foi a pecuária, tendo como características, a criação da maioria dos rebanhos em pastos (FERRAZ; FELÍCIO, 2010). De acordo com os dados históricos da Coleção 9 do MapBiomas Brasil, o país conta com uma extensão de pastagens monitoradas que varia entre 160 e 177 milhões de hectares totais. No bioma Cerrado, as pastagens plantadas historicamente se consolidaram como o principal uso antrópico, cobrindo uma área aproximada de 51 milhões de hectares. Conforme apontam os levantamentos geoespaciais e agronômicos, o bioma Cerrado abriga o maior intervalo absoluto de degradação concentrada do país, com estimativas de 31 a 35 milhões de hectares de pastagens (representando mais de 60% da área cultivada do bioma) sofrendo com perda crônica de produtividade (CORDEIRO et al., 2022).

Em consequência das constantes alterações na vegetação nativa do Cerrado, muito se discute a respeito das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) geradas pelo setor agropecuário e de mudanças do uso e cobertura da terra. Segundo o relatório de 2022 do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), o setor de mudança no uso e cobertura da terra representou a maior fonte de emissões de CO_2 (60% das emissões totais de CO_2 do país) (SEEG, 2022). Segundo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), "Mudanças Climáticas 2021: a Base da Ciência Física", muitas das transformações climáticas observadas são sem precedentes nos últimos milhares ou centenas de milhares de anos e algumas dessas mudanças em andamento, como a elevação constante do nível do mar, são irreversíveis, com impactos que serão percebidos por séculos a

milênios (IPCC, 2021). Entretanto, segundo o mesmo relatório, reduções significativas nas emissões de gases de efeito estufa, limitariam as mudanças climáticas, trazendo benefícios que seriam sentidos rapidamente.

Desta forma, visando mitigar as emissões de GEE, várias são as técnicas de manejo utilizadas. Uma delas é a recuperação de pastagens degradadas (RPD), como pontuam Zimmer et al. (2012), ao relatar que, quando forrageiras são bem recuperadas e manejadas, podem contribuir significativamente para reduzir o efeito dos GEE pois, pela fixação simbiótica de N, contribuem para minorar o gasto energético na produção de fertilizantes nitrogenados e a emissão de N_2O. Já a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), também chamada de sistemas integrados, engloba os três componentes em uma mesma área, e possui sistema propício para alcançar produtividades satisfatórias e compensar emissões de GEE provenientes da atividade agropecuária, proporcionando um balanço positivo de carbono (OLIVEIRA et al., 2017).

Por conta do grande potencial de acúmulo de carbono no solo, muito se fala do uso das tecnologias citadas, com foco na geração de créditos de carbono em propriedades rurais. Diversos empreendedores rurais possuem interesse nesse novo mercado, que surge como tendência no Brasil e no mundo. Entretanto, algumas incertezas ainda impedem a adesão a esse mercado. Por exemplo, em quais áreas é viável a elaboração de um projeto de carbono e, principalmente, quanto cada sistema pode contribuir com a absorção de carbono emitido no processo produtivo.

Além disso, sabe-se que a quantidade de matéria orgânica e por sua vez o carbono no solo estão sob influência de diversos fatores, de acordo com Silva et al. (2023), o carbono no solo atua como um indicador central "guarda-chuva", refletindo de maneira direta as condições e a saúde química, física e biológica de todo o ecossistema subterrâneo. Por sua vez, a qualidade do solo está ligada a fatores como fertilidade e textura, que por consequência influenciam o teor de carbono no solo. No caso da textura, solos argilosos favorecem o acúmulo de MOS em relação a solos arenosos por serem menos aerados e tendem a permanecer ligados a complexos humoargilosos (Brady e Weil, 2013; Barros et al., 2019).

Desta forma, o atual estudo visa comparar o potencial de armazenamento de teor de carbono no solo de um sistema produtivo de pastagens recuperadas e bem manejadas, pastagens em estágio relativo de degradação, sistemas integrados Pecuária-Floresta (IPF) e floresta

adensada (solteira), proporcionando assim, ferramentas para melhor tomada de decisão do produtor rural, possibilitando mitigar as emissões de GEE das propriedades e aumentar a renda.

Conforme apresentado, este estudo pretende, como um dos resultados finais, propiciar subsídios científicos para uma escolha mais assertiva na definição da técnica de manejo a ser implementada em propriedades rurais, visando mitigar as emissões de GEE. Para isto, objetiva-se responder: "Qual a contribuição na armazenagem de teor de carbono no solo de sistemas compostos com pastagens em diferentes níveis de degradação, integração pecuária-floresta e floresta adensada (solteira). E quais as dificuldades e pré-requisitos para implantação das referidas tecnologias?".

2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICO

Para tal, como objetivo central deste trabalho, buscou-se identificar o potencial de armazenamento de carbono no solo e seus possíveis condicionantes (fertilidade, textura) para diferentes profundidades do solo (0 a 20 cm e 20 a 40 cm) em sistemas produtivos, bem como auxiliar produtores rurais na tomada de decisão quanto a qual técnica de manejo escolher, visando reduzir e/ou compensar emissões de GEE. A pesquisa então, especificamente, pretende:

- Verificar possível relação entre manejo do solo e teor de carbono em diferentes profundidades (colocar as profundidades);
- Verificar possível relação entre nível de fertilidade de solo e teor de carbono;
- Verificar possível relação entre textura de solo e teor de carbono.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Muito se discute a respeito das mudanças climáticas e como as mesmas são influenciadas pelas emissões de Gases de Efeito Estufa. Desta forma, com intuito de minimizar as mudanças climáticas, em 2015, houve o Acordo de Paris, no qual diversos países estabeleceram metas de redução de emissões, as chamadas 'contribuições nacionalmente determinadas'.

O governo brasileiro propôs metas ousadas para redução de emissões dos gases poluentes, se comprometendo a reduzir as suas emissões em 48% até 2025 e 53% até 2030, em relação às emissões de 2005. Além disso, em 2023, o Brasil reiterou seu compromisso de alcançar emissões líquidas neutras até 2050 (SEEG, 2023).

Visando atingir o objetivo anteriormente citado, com foco na agricultura, estão sendo desenvolvidos projetos e programas focados na mitigação das emissões de GEE. Um dos principais exemplos é o "Plano Setorial para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura", o que se convencionou chamar de "Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)", executado até 2020, e recentemente atualizado para "Plano ABC +". Neste plano, são descritas diversas tecnologias que irão auxiliar na mitigação de emissões de GEE, dentre elas estão a recuperação de pastagens degradadas e a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta em seus diversos formatos.

Outro projeto de grande importância é o Rural Sustentável Cerrado (PRS-Cerrado), iniciado em 2019, possui objetivo de mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa e aumentar a renda de pequenos(as) e médios(as) produtores(as) no bioma Cerrado, por meio da implementação de tecnologias de baixa emissão de carbono. Para atingir tal objetivo, também trabalha com tecnologias como recuperação de pastagens degradadas e sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

Conforme Macedo et al. (2000), a recuperação de pastagens caracteriza-se pelo restabelecimento da produção de forragem, mantendo-se a mesma espécie ou cultivar. Além disso, segundo Zimmer et al. (2012), para que se consiga manter a pastagem recuperada sem níveis de degradação, é necessário que sejam adotadas práticas de manejo apropriado a cada forrageira, bem como o manejo animal adequado e a realização de adubações de manutenção.

Por sua vez, a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), também chamada de sistemas integrados, é uma estratégia de produção sustentável, que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotação, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (BALBINO et al., 2011).

Matos et al. (2019) analisaram a dinâmica de acúmulo de carbono no solo em sistema de ILPF, juntamente com sistemas solteiros de pecuária, lavoura e eucalipto. No referido

estudo, os resultados mostram o grande potencial da ILPF em acumular carbono no solo, pois este foi o tipo de manejo que mais acumulou carbono em três anos de experimentos, se aproximando dos valores de estoque de carbono encontrados na mata nativa.

Ademais, diferentes estudos têm relacionado às capacidades de estoque de carbono dos sistemas produtivos supracitados, assim como de vegetação nativa de diversos biomas. Pulrolnik et al. (2021) conduziram um experimento relacionando aos sistemas de ILP e ILPF, e por fim concluíram que o estoque de carbono no solo de sistema ILP, até a profundidade de 0 cm a 100 cm foi 10,4% superior ao estoque de carbono no sistema ILP.

Deve-se destacar a relevância das pesquisas supracitadas, levando em consideração também a atualidade das informações geradas. Entretanto, nenhum dos estudos realizou a comparação do teor de carbono em pastagem solteira, com os sistemas integrados. Somado a isso, ambos destacaram a necessidade e importância de continuar o monitoramento da temática, ao passo que as alterações na dinâmica da matéria orgânica do solo ocorrem, em geral, em longo prazo.

4 MATERIAS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi desenvolvido na região centro-norte do estado do Mato Grosso do Sul, no município de Bandeirantes-MS, nas coordenadas 19º 55' 04" de latitude Sul e 54º 21' 50" de longitude Oeste com altitude média de 630 metros na Fazenda Pontinha. O clima da região tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e inverno seco, com precipitação média anual de 1.800 mm. Ademais, conforme Pereira (2012) as principais classes de solo, em nível de ordem, identificadas no município foram: Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos.

A fazenda desenvolve atividades com pastagens, silvicultura (produção de eucalipto para biomassa e celulose) em sistemas integrados e solteiros. Nas áreas, a fazenda possui atividades de recria e terminação de bovinos de corte a pasto (apenas fêmeas), cultivo de grãos (soja) e também apicultura em pequena escala. A área total do experimento corresponde a aproximadamente 2880 hectares de regiões já antropizadas.

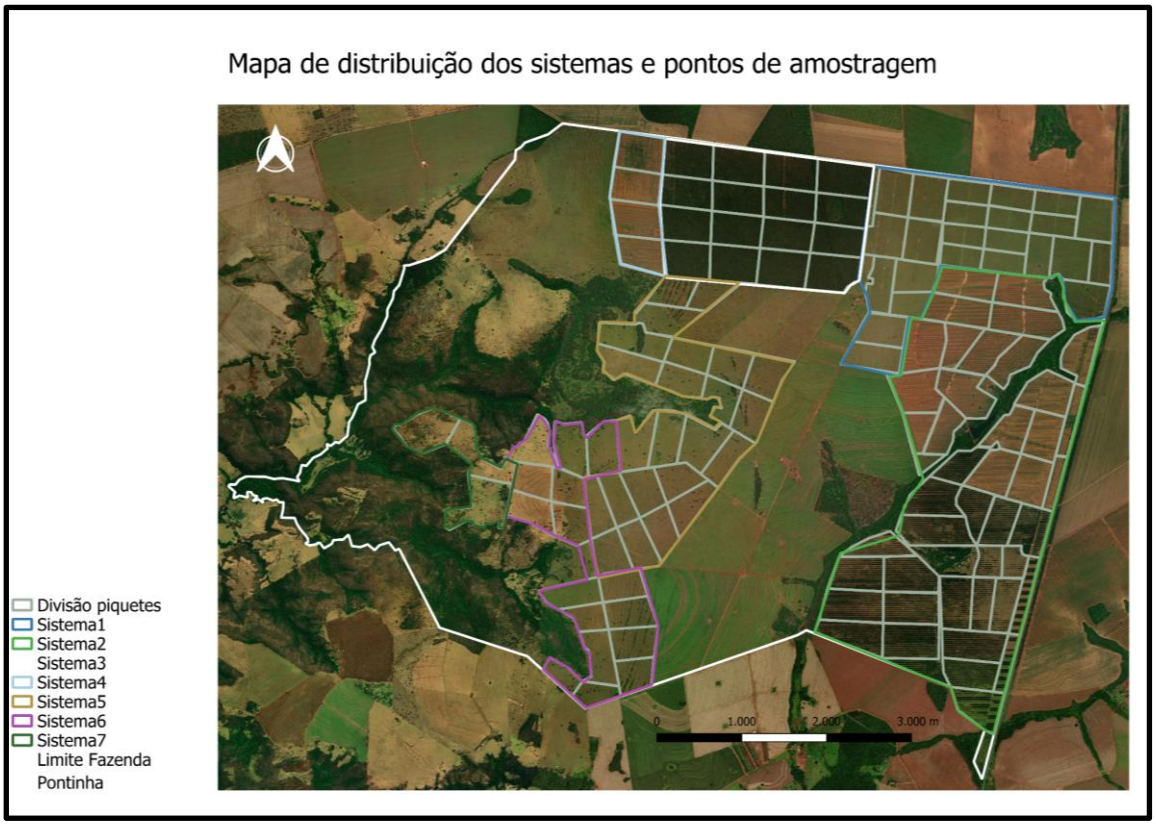
O planejamento das coletas de solos seguiu a metodologia proposta por Fontana et al. (2024), a qual estipula áreas homogêneas e, dentro destas, a definição de faixas permanentes para avaliação e monitoramento garantindo a menor variabilidade e a menor influência de fatores externos às práticas ou tecnologias preconizadas. Assim conforme o mesmo autor foram delimitadas regiões com menor variação do relevo (forma, posição na encosta e exposição ao sol), sendo ainda estratificada pela variação da classe de solo e ou grupo textural, sistemas de cultivo ou culturas, arranjos de cultivo (anuais, pastagens, árvores ou arbustos, sistemas integrados), histórico de cultivo, estado das culturas e manejo.

Desta forma foram delimitadas áreas (unidades homogêneas) de tamanho variando entre 5 e 25 hectares, a depender das condições apresentadas no campo, sendo demarcadas com software livre Google Earth, de modo a expor os polígonos de cada talhão onde houveram as coletas. Para a composição de cada amostra composta, foram retiradas sub-amostras (10 a 25), a depender do tamanho e uniformidade da área. Na Figura 1 esta apresentado o mapa de distribuição de pontos da amostragem composta de solo e mapa da divisão dos sistemas da área de estudo (Figura 2).

Na produção de eucalipto, existe o sistema de integração pecuária-floresta (IPF) e plantio adensado apenas de floresta, sem o componente animal (pastagem). Além disso, existe variação entre as espécies vegetais, de modo que a fazenda possui plantação do clone de Eucalyptus urophylla I144, GG100 e Corymbia citriodora. Quanto às pastagens cultivadas, também existe variação entre as espécies das forrageiras, de modo que em sua maioria são exóticas e algumas pequenas exceções naturais de cerrado.

A seguir está disposto o mapa de distribuição de pontos da amostragem composta e da divisão dos sistemas da área de estudo (Figura 1).

Figura 1: Mapa da distribuição dos pontos de amostragem e divisão dos sistemas da área de estudo na fazenda Pontinha em Bandeirante-MS



Fonte: Elaboração própria.

Sistema 1: Piquetes com fertilidade média, há cerca de 15 anos eram utilizados para cria e recria de vacas de leite, utilizados com o pastejo rotacionado, controlando a entrada e saída dos animais pela altura da pastagem. Atualmente são utilizados para terminação de novilhas de corte e divisões mantendo apenas grandes piquetes, que somados equivalem a cerca de 411 hectares. Deve-se destacar que existem grande variedades de forrageiras, como capim Brachiaria brizantha cv. Marandu, Panicum maximum cv. Mombaça e Brachiaria decumbens cv. Basilisk.

No período de águas (setembro a abril) trabalha-se com lotação de aproximadamente 2 UAs/hectare e na seca (maio a agosto) os animais ficaram na área de Integração lavoura-pecuária, em pastagem de Brachiaria Ruziziensis, com lotação de aproximadamente 2,2 UAs.

Quadro 1: Imagens do sistema 1 com área utilizadas com patagens: capim Brachiaria brizantha cv. Marandu, Panicum maximum cv. Mombaça e Brachiaria decumbens cv. Basilisk, na fazenda Pontinha em Bandeirante-MS.





Fonte: Próprio autor.

Sistema 2: Lavoura de Corymbia citriodora implantada em 2007 com espaçamento de 2x3 metros, em área de cerca de 360 hectares. O plantio foi realizado a cerca de 15 anos, com correção e adubação do solo. As árvores já sofreram o primeiro corte, em seguida foi conduzida a rebrota sem a realização de correção de solo, contudo houve rebroto significativo, cerca de 1200 plantas por hectare, somado a isso, o planejado é que as árvores sejam cortadas no fim de 2026.

Deve-se ressaltar que a área está localizada em uma região de baixa fertilidade, solo bastante arenoso e plano. Mesmo em condições desafiadoras foi conduzido o rebrote das árvores e os resultados foram satisfatórios. Atualmente é feito na área o controle de formigas cortadeiras utilizando iscas granuladas, porém sem aplicação de corretivo e adubo no solo.

Quadro 2: Imagens do sistema 2 nas áreas de lavoura de Corymbia citriodora, plantado há 15 anos, na fazenda Pontinha em Bandeirante-MS.



Fonte: Próprio autor.

Sistema 3: Composta de Eucalyptus urophylla, a implantação foi em 2008, soma-se cerca de 90 hectares, o histórico é bem semelhante ao da área 3, contudo o corte foi realizado em 2023 e a fazenda não obteve o sucesso desejado na rebrota, primeiro por falta de correção do solo e segundo pelo corte ter sido realizado em época seca, havendo assim déficit híbrido na época do rebroto, além disso houve um ataque de formigas do gênero *Atta e Acromyrmex* bastante severo.

Atualmente a área de encontra bastante infestada com plantas daninhas, sendo que o aproveitamento esperado é baixo. Deste modo, nos próximos anos será avaliada a viabilidade do cultivo na condição atual.

Quadro 3: Imagens do sistema 3 composto por área de Eucalyptus urophylla com corte realizado em 2023, na fazenda Pontinha em Bandeirante-MS



Fonte: Próprio autor.

Sistema 4: Áreas contendo sistema Integração pecuária-floresta (IPF), somam-se 908 hectares, divididos em 2 regiões. A primeira tem 433 hectares, foi implantada em 2017, foi realizados 1 corte, sendo este em 2023, o broto não foi favorável e houve necessidade de realizar a correção de fertilidade solo e em seguida o plantio no final de 2024 com clone I144, foi alocado 1 renque com 4 fileiras de árvores com espaçamento de 1,5 x 1,5 m, com distanciamento de 16 m entre cada renque, contendo a pastagem no meio.

Em outra área de 475 hectares, que foram implantados em 2010, o segundo corte ainda não foi realizado, o plantio é bastante antigo e algumas árvores já passaram do ponto ideal de colheita, por isso há pressa dos proprietários em realizar o corte para conduzir a condução das plantas em seguida. O espaçamento é de 20 m entre os renques, já entre as árvores é de 3x3m com 2 fileiras por renque, com o clone GG 100.

Quadro 4: Imagens do sistema de integração pecuária floresta (IPF), na fazenda Pontinha em Bandeirante-MS.





Fonte: Próprio autor.

Sistema 5: Pastagens cultivadas com pastejo rotacionado, existe grande variação entre as forrageiras, contudo a forragem predominante é Brachiaria decumbens cv. Basilisk, contendo alguns fragmentos com Brachiaria brizantha cv. Marandu e Brachiaria humidícola. Existe também grande variação quanto grau de degradação das pastagens, a área é bastante extensa, somando-se 425 hectares. O nível de fertilidade do solo e composição física varia de acordo com a característica geral na região e do uso e ocupação temporal.

No período de águas (setembro a abril) trabalha-se com lotação de aproximadamente 1,2 UAs/hectare e na seca (maio a agosto) os animais ficaram na área de Integração lavoura-pecuária, em pastagem de Brachiaria Ruziziensis, com lotação de aproximadamente 2,2 UAs.

Quadro 5: Imagens do sistema 5 com pastagens degradadas, na fazenda Pontinha em Bandeirante-MS.





Fonte: Próprio autor.

Sistema 6: Pastagens cultivadas com pastejo rotacionado, composta de Brachiaria brizantha cv. Xaraés e Brachiaria brizantha cv. Marandu, somam-se 267 hectares. Região com textura mais argilosa e de melhor fertilidade, se comparada a anterior, os pastos são utilizados para terminação das novilhas. Uma parte foi formada completamente há cerca de 12 anos e o pastejo é manejado pela altura.

No período de águas (setembro a abril) trabalha-se com lotação de aproximadamente 2,5 UAs/hectare e na seca (maio a agosto) os animais ficaram na área de Integração lavoura-pecuária, em pastagem de Brachiaria Ruziziensis, com lotação de aproximadamente 2,2 UAs.

Quadro 6: Imagens do sistema 6 com pastagens cultivadas com pastejo rotacionado, composta de Brachiaria brizantha cv. Xaraés e Brachiaria brizantha cv. Marandu, na fazenda Pontinha em Bandeirante-MS.



Fonte: Próprio autor

Sistema 7: Pastagens cultivadas com pastejo alternado, com composição mista de forrageiras, apresentando Panicum maximum cv. Mombaça, Brachiaria brizantha cv. Marandu e Hyparrhenia rufa, área de 78 hectares. De modo geral, possui solo de boa fertilidade composto por muitas pedras, mesmo na camada superficial, é uma região bastante afastada, com

declividade consideravelmente irregular, sendo a mecanização desafiadora. Além disso, a área é bem próxima à região de Furnas composta pela Reserva Legal, sendo assim, uma parte contém muitas árvores nativas e plantas daninhas, não sendo possível aproveitar de forma satisfatória.

No período de águas (setembro a abril) trabalha-se com lotação de aproximadamente 2 UAs/hectare e na seca (maio a agosto) os animais ficaram na área de Integração lavoura-pecuária, em pastagem de Brachiaria Ruziziensis, com lotação de aproximadamente 2,2 UAs.

Quadro 7: Imagens do sistema 7 com área de pastagens cultivadas com pastejo alternado, com composição mista de forrageiras, apresentando Panicum maximum cv. Mombaça, Brachiaria brizantha cv. Marandu e Hyparrhenia rufa, na fazenda Pontinha em Bandeirante-MS



Fonte: Próprio autor.

4.2 Coleta e análise de dados

Conforme a metodologia proposta por Fontana et al. (2024), o planejamento das coletas deve partir do conceito de estipular áreas homogêneas e, dentro destas, a definição de faixas permanentes para avaliação e monitoramento garantem a menor variabilidade e a

menor influência de fatores externos às práticas ou tecnologias preconizadas. Visando manter a veracidade das informações obtidas, nenhuma das amostras foram retiradas de áreas que tiveram solo revolvido ou que esteve sob aplicação de algum composto químico ou orgânico.

Especificamente para delimitação das áreas homogêneas, conforme orientada Fontana et al. (2024), foram definidas a partir do conceito de região com menor variação do relevo (forma, posição na encosta e exposição ao sol), sendo ainda estratificada pela variação da classe de solo e ou grupo textural, sistemas de cultivo ou culturas, arranjos de cultivo (anuais, pastagens, árvores ou arbustos, sistemas integrados), histórico de cultivo, estado das culturas e manejo.

Deve-se destacar também que não houve necessidade de separação entre áreas de sequeiro e irrigadas, levando em consideração que a propriedade não realiza irrigação em nenhum dos sistemas produtivos. Além disso, não há limites de tamanhos das áreas, desde que sigam as orientações anteriormente citadas, contudo na medida do possível, foram estipuladas unidades homogêneas de tamanho entre 5 e 25 hectares, a depender das condições apresentadas no campo.

Quanto à amostragem realizada, no presente estudo foram retiradas amostras para verificação do teor de carbono apenas no solo, ou seja, não foram realizadas coletas da parte aérea, tanto do sistema de pastagens quanto de IPF.

As amostragens foram realizadas nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, conforme recomendação de Fontana et al. (2024), para fins de análise de fertilidade do solo e teor de carbono no solo, visando acessar as marcas conceito carne carbono neutro (CCN) e carne baixo carbono (CBC), desenvolvidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Outra questão de fundamental importância é a representatividade dos sistemas produtivos, de modo a captar todas as particularidades. Para o sistema de IPF buscou-se atentar a composição dos renques de eucalipto, pois segundo Leite et al. (2025) a coleta na pastagem, deve ser feita próxima às fileiras de árvores e também entre as mesmas, onde contém maior deposição de matéria orgânica.

Após realização das coletas, foram obtidas amostras de 139 amostras compostas para a profundidade 0-20 cm e a mesma quantia para 20-40 cm, as amostras foram encaminhadas para

laboratório Solos, localizado em Campo Grande/MS, onde foram gerados os seguintes parâmetros: matéria orgânica, pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, hidrogênio, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases, enxofre, ferro, manganês, zinco, cobre, boro e textura do solo.

O método utilizado para obtenção da matéria orgânica foi por via úmida, sendo a mesma é oxidada com uma mistura de dicromato de potássio. Por sua vez, o pH e nutrientes fósforo e potássio foram obtidos pelo método proposto por Teixeira et al., 2017, já cálcio, magnésio e alumínio foram analisados utilizando cloreto de potássio (KCl 1M), método analítico padrão para análises de fertilidade.

Para estimativa do teor de carbono orgânico, Fontana et al. (2024) orientam que no caso de análises em laboratórios que obtêm a matéria orgânica (MO), basta dividir o valor da MO por 1,724 para obter o valor do C org. Este fator advém da composição da MO, a qual tem, em média, 58% de C (100/58 = 1,724), conforme método de Walkley & Black ou Walkley & Black modificado, em função da adição da fonte de calor externa ao método originalmente proposto por Walkley e Black (1934) (Fontana; Campos, 2017).

Após a obtenção dos resultados laboratoriais, foi verificado o teor de carbono no solo para cada sistema de manejo supracitado e se havia relação de acordo com cada sistema. Em seguida, verificou-se a relação do teor de carbono com alguns parâmetros físico-químicos, como textura, concentração de fósforo e potássio e saturação de bases, tanto para a profundidade de 0 a 20 cm quanto de 20 a 40 cm. Ademais, é importante frisar que a quantidade de amostras e o tamanho da área são bastante significativos para que haja comparação, sendo 278 amostras compostas (somando 0-20 e 20-40 cm).

Para realizar a comparação supracitada, de início foram confeccionados os mapas de fertilidade, avaliando os seguintes parâmetros: saturação de bases, textura de solo, quantidade de fósforo, potássio e teor de carbono orgânico. Para realizar os mapas, foi utilizado o software livre Qgis (Sherman, 2002), tanto para delimitação dos pontos e inserção das informações das análises de solo, quanto para interpolação pelo método IDW (Inverso da Distância Ponderada), baseada na distância ponderada de um ponto amostral (à esquerda). Superfície IDW interpolada a partir de pontos vetoriais de elevação (à direita). De modo que o programa considera a potência da distância igual a 2, ou seja, o inverso do quadrado da distância entre os pontos.

Em seguida, foram desenvolvidas análises estatísticas com intuito de verificar se existia relação entre teor de carbono com outros parâmetros. Para isso fez-se a média dos valores de teor de carbono, saturação de bases, textura de solo, fósforo e potássio para cada sistema de produção. Na sequência, foi avaliado o coeficiente de variação e desvio padrão dos valores de saturação de bases, textura e teor de carbono para que em seguida fosse analisado o coeficiente de correlação por meio de equações lineares, gerando gráficos e coeficientes de determinação.

5 INCLUSÃO SOCIAL DO PROJETO

O objetivo geral do Projeto Rural Sustentável Cerrado (PRS-Cerrado) é mitigar as emissões de GEE e aumentar a renda de produtores (as) no bioma Cerrado, promovendo a adoção de tecnologias produtivas de baixa emissão de carbono. Para isso, o Projeto trabalha em conjunto com diversos produtores rurais, sendo que alguns já possuem tecnologias bem implantadas (Unidades Demonstrativas). Em outros casos, o PRS-Cerrado também trabalha com Organizações Socioprodutivas (OSPs), que cadastraram produtores com foco em implantar ou melhorar alguma técnica produtiva desenvolvida no Projeto (Unidades Multiplicadoras).

Em um contexto geral do PRS-Cerrado e também de produtores comuns, diversos empreendedores têm interesse na compensação das emissões de GEE, entretanto, ainda surgem muitas incertezas a respeito dos pré-requisitos na implantação de cada tecnologia, além do potencial de compensação de cada uma. Desta forma, com o desenvolvimento do estudo, será possível que os produtores tenham uma melhor compreensão acerca de qual tecnologia é adequada para sua realidade, de modo a estocar carbono no solo e intensificar a produção de forma sustentável.

Ademais, como engenheiro agrônomo responsável por uma propriedade onde já é realizada a compensação de emissões de gases de efeito estufa, foi de grande valia o aprendizado, para nortear os próximos passos das áreas produtivas da fazenda. De modo que, com os dados obtidos, foi possível avaliar com maior certeza a viabilidade dos sistemas integrados, no que tange a fixação de carbono no solo, em relação às pastagens solteiras.

Além disso, as informações de fertilidade de solo, juntamente com o estoque de carbono auxiliam de forma ímpar nas tomadas de decisões da fazenda. Anteriormente o planejamento de reforma e recuperação de solos e pastagens era realizado de forma visual e as correções

dificilmente eram precisas, com os mapas e dados gerados foi possível avaliar de forma técnica por onde começar os trabalhos, visando retorno financeiro e conservação ambiental.

Somado a isso, a pesquisa foi também relevante referente às certificações trabalhadas no Projeto por meio da assistência técnica, sendo essas Carne Carbono Neutro, Forest Stewardship Council (FSC), Rainforest Alliance, Rede ILPF e Round Table on Responsible Soy (RTRS). Alguns produtores já demonstraram interesse nas supracitadas certificações, sendo assim, em posse de tal estudo, o produtor juntamente do técnico, pode com maior facilidade, decidir qual tecnologia será mais indicada para sua propriedade, o que poderá oferecer vantagens ambientais e financeiras.

Além disso, durantes dias de campo do PRS-Cerrado, vários produtores de Unidades Multiplicadoras e Demonstrativas demonstraram interesse em trabalhar com créditos de carbono. Ao passo que já estão implantando alguma tecnologia, além de alguns possuirem remanescente de vegetação nativa em excedente, além do previsto na Lei Nº 12.651, de 25 de Maio de 2012 (Código Florestal Brasileiro).

Por fim, deve-se destacar que a pesquisa atingindo poderá ser uma importante ferramenta para auxiliar algumas políticas públicas no cumprimento de suas principais metas. De modo que o produtor rural tendo mais facilidade na implantação das tecnologias desenvolvidas também para fixação de carbono, estará mitigando as emissões de GEE e, possivelmente, gerando uma maior receita por meio da intensificação da produção, além da possibilidade de geração de créditos de carbono.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

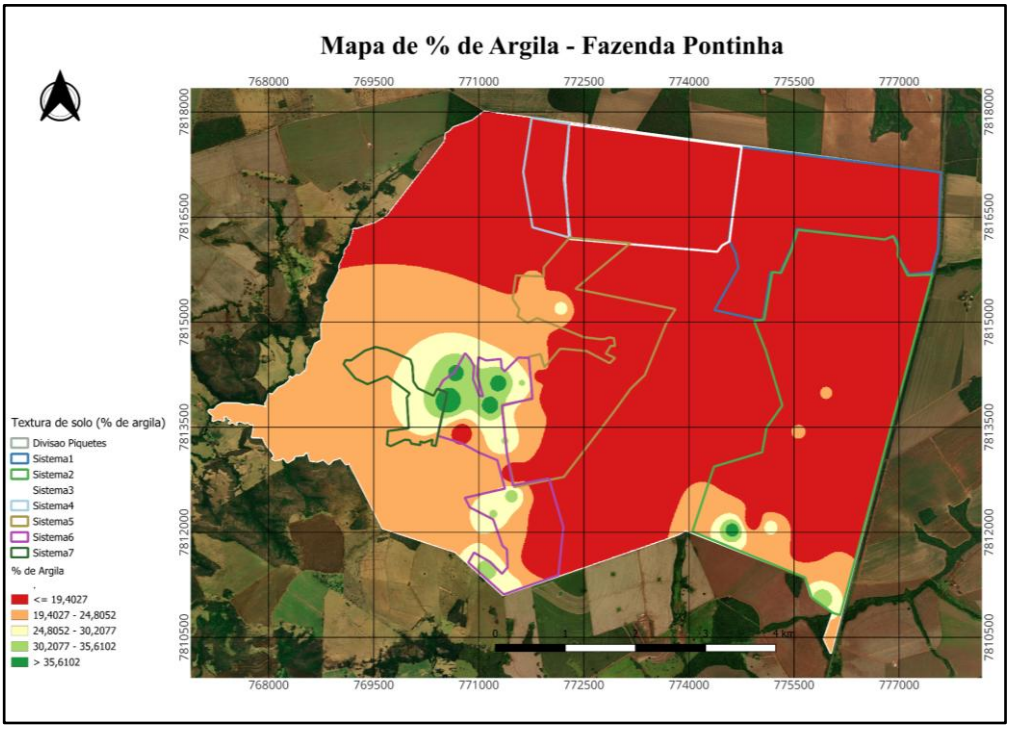
6.1 Análise dos parâmetros físicos e químicos do solo

O parâmetro físico avaliado foi a % de argila do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, sendo que o mapa encontra-se na Figura 2. Com os resultados é possível perceber que grande parte da fazenda possui solo arenoso, ou seja, até 19 % de argila, de modo que os solos com maior % de argila apresentam a grande maioria até 35% de argila caracterizando-se como solos de textura média, estando prioritariamente nas partes de menor altitude, próximas

às Áreas de Preservação Permanente. Uma pequena parcela da área apresentou % argila acima de 35%.

Destaca-se também a grande variação na textura do solo, de modo que para a profundidade de 0 a 20 cm, a menor concentração de argila foi de 14% e a maior de 41%. Já para a profundidade de 20 a 40 cm, o menor valor foi de 18% de argila no solo e maior de 51%. Entretanto, valores baixos de % de argila são mais comuns na área de estudo, sendo a classificação como "arenosa" bastante frequente na fazenda.

Figura 2: Mapa de % de argila (textura de solo) na profundidade de 0 a 20 cm, da Fazenda Pontinha no município de Bandeirantes-MS.

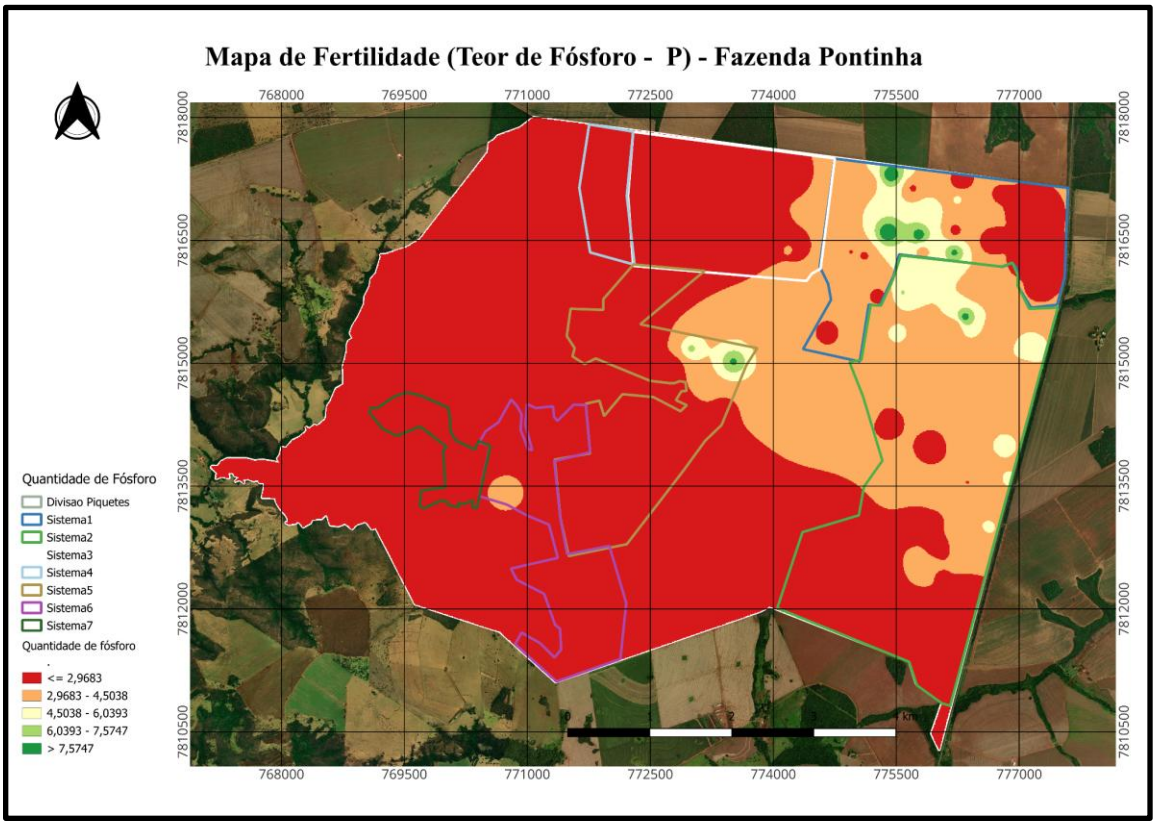


Fonte: Próprio autor.

Na sequência foi avaliado o teor de fósforo presente no solo, ao passo que segundo registros, adubações fosfatadas não são realizadas nas pastagens há um longo período de tempo. Segundo a classificação de Martha Junior et al., 2007, espécies de forrageira como Brachiaria decumbens podem ser classificadas como "pouco exigentes", já outros como Brachiaria brizantha cv. Marandu, cv. Xaraés e Piatã são classificadas como "exigentes" e por fim Panicum maximum cv Mombaça como "muito exigentes".

Para as pastagens, o ideal é que se tivesse ao menos 7 mg/dm³ de P disponível no solo, para solos arenosos (menos de 15% de argila) entretanto, é possível perceber que valores próximos a esse são apresentados em poucas regiões, sendo essas relacionadas provavelmente às correções realizadas nos momentos onde ainda havia produção leiteira (Sistema 1) e posteriormente a pouco tempo para plantio de eucalipto (Sistema 2).

Figura 3: Mapa de fertilidade de solo (Teor de fósforo) na profundidade de 0 a 20 cm, da Fazenda Pontinha no município de Bandeirantes-MS.



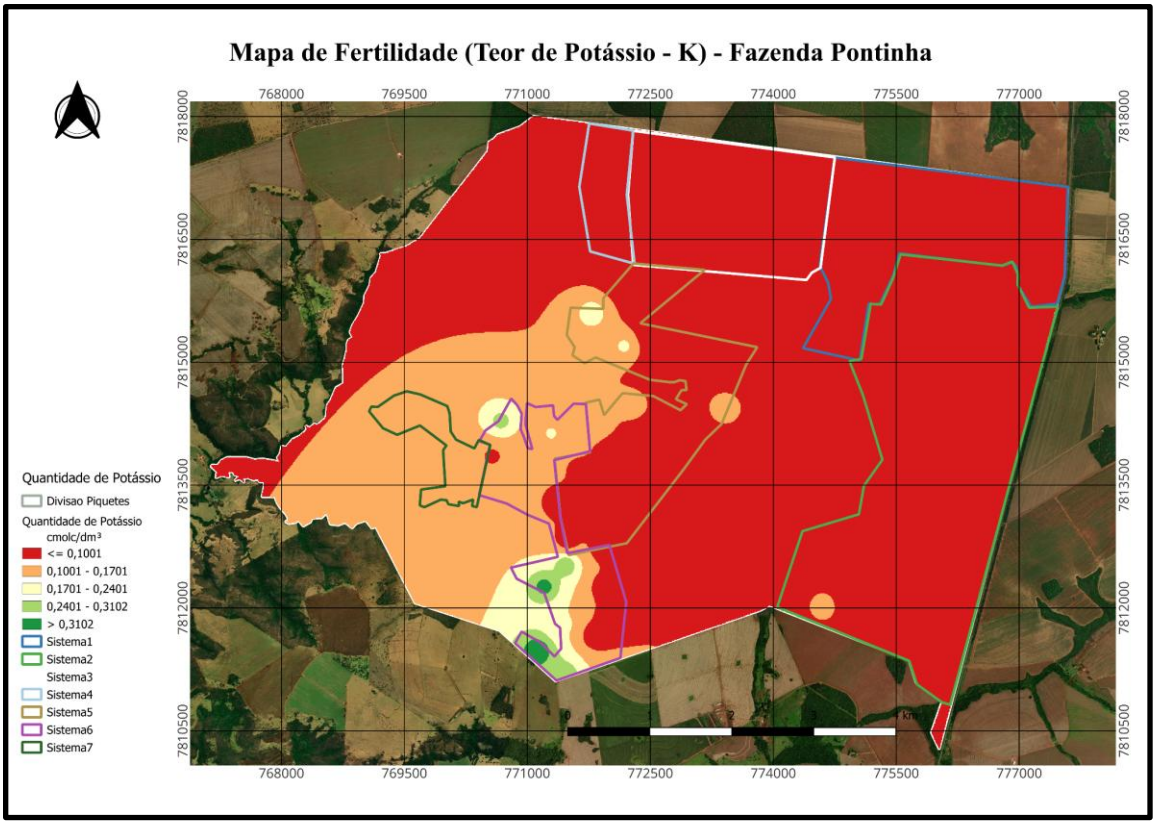
Fonte: Próprio autor.

A avaliação do teor de Potássio (K) no solo, encontra-se na Figura 4. Para avaliar esse parâmetro, deve-se levar em consideração a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo, que varia tanto em relação a composição química quanto física.

Para avaliar o teor de potássio no solo deve-se corrigir a unidade de medida de mg/dm³ (presente nos laudos das análises de solo) para cmolc/dm³. Desta forma, para CTC média presente na Fazenda Pontinha (em torno de 4 cmolc/dm³), contudo segundo Martha Junior et

al., 2007, faz-se necessário manter minimamente a quantidade de Potássio no solo entre 0,10 e 0,12 cmolc/dm³, a fim de atingir um nível adequado no cultivo de forrageiras tropicais. Conforme verificado na Figura 4, essa realidade é pouco frequente na área de estudo, obtendo valores maiores apenas em regiões mais argilosas, onde também a CTC. Ademais, destaca-se que as regiões com maiores valores de potássio não foram adubadas recentemente, mas possuem fertilidade natural, onde estão localizados os pastos com maior vigor e menor degradação, sendo classificados no sistema como "pastos de terminação de gado".

Figura 4: Mapa de fertilidade de solo (Teor de potássio) na profundidade de 0 a 20 cm, da Fazenda Pontinha no município de Bandeirantes-MS.



Fonte: Próprio autor.

O mapa de fertilidade para avaliar a saturação de bases está disposto na Figura 5. Como pode ser verificado, diversas áreas da fazenda apresentam saturação em torno de 30%, o que pode ser bastante crítico para a disponibilidade de nutrientes, somado ao fato de possivelmente apresentar ambiente ácido com relevante toxicidade de alumínio.

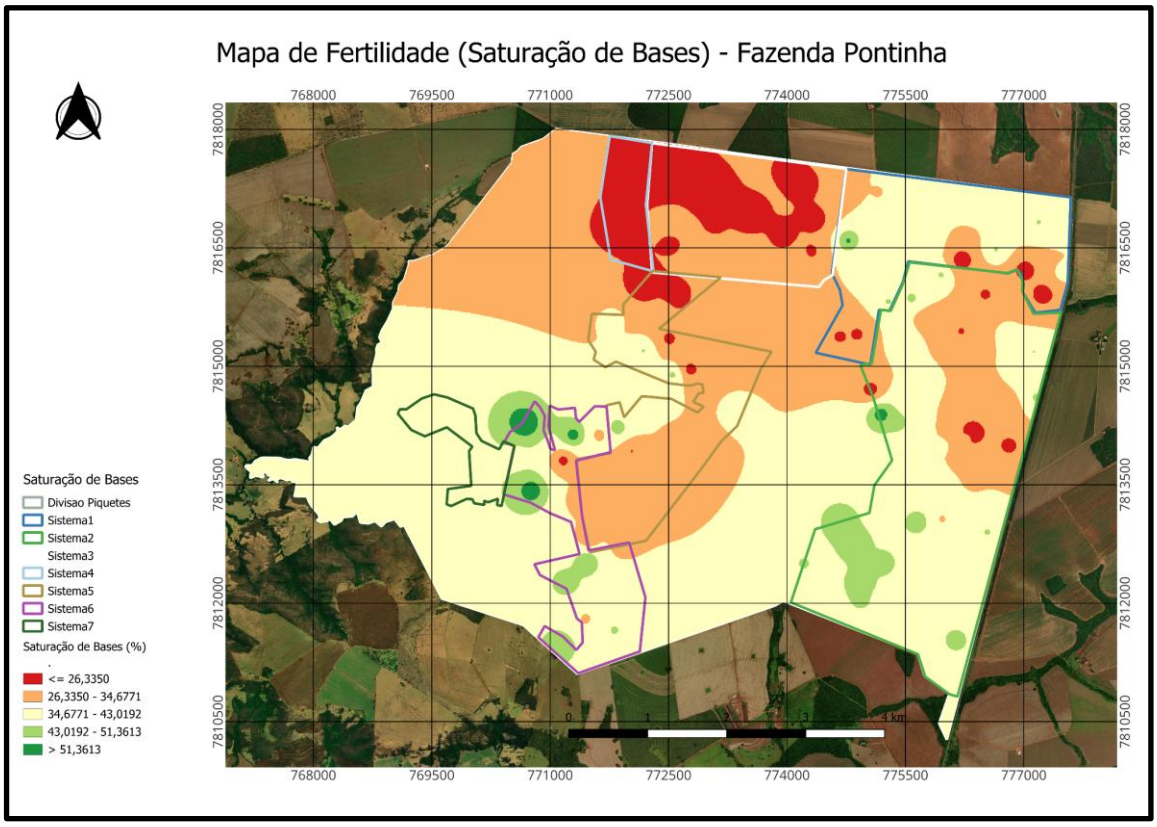
Deve-se ressaltar que para atingir as condições ideais de cultivo das pastagens e eucalipto presente na fazenda, tem-se a necessidade de realizar algumas ações de intervenção, tendo em vista a acidez presente no solo, resultando também em baixa saturação de bases. Desta forma, é indicada a calagem, que reduz ou neutraliza o alumínio do solo e fornece cálcio e magnésio para as plantas, aumentando, também, a capacidade de troca de cátions efetiva e a disponibilidade de fósforo e de outros nutrientes para as plantas. Ao corrigir o alumínio do solo e fornecer cálcio, a calagem favorece o desenvolvimento do sistema radicular, melhorando a absorção e a utilização de nutrientes e de água pelas plantas (Vilela et al., 2007). A seguir (Tabela 1) são evidenciadas as condições de saturação de bases mínimas para o bom desenvolvimento de algumas espécies encontradas na área de estudo (Martha Junior et al., 2007).

Tabela 1: (Saturação de bases ideal para forrageiras e *Eucalyptus* no cerrado).

Espécies	**Saturação por bases indicada**
Brachiaria decumbens e B. humidicola	35%
Brachiaria ruziziensis	45% a 50%
Brachiaria brizantha cv. Marandu, cv. Xaraés e Piatã	45% a 50%
Panicum maximum cv Mombaça	60%
Eucalyptus	50 a 60%

Fonte: (Martha Junior et al., 2007).

Figura 5: Mapa de fertilidade de solo (Saturação de bases) na profundidade de 0 a 20 cm, da Fazenda Pontinha no município de Bandeirantes-MS

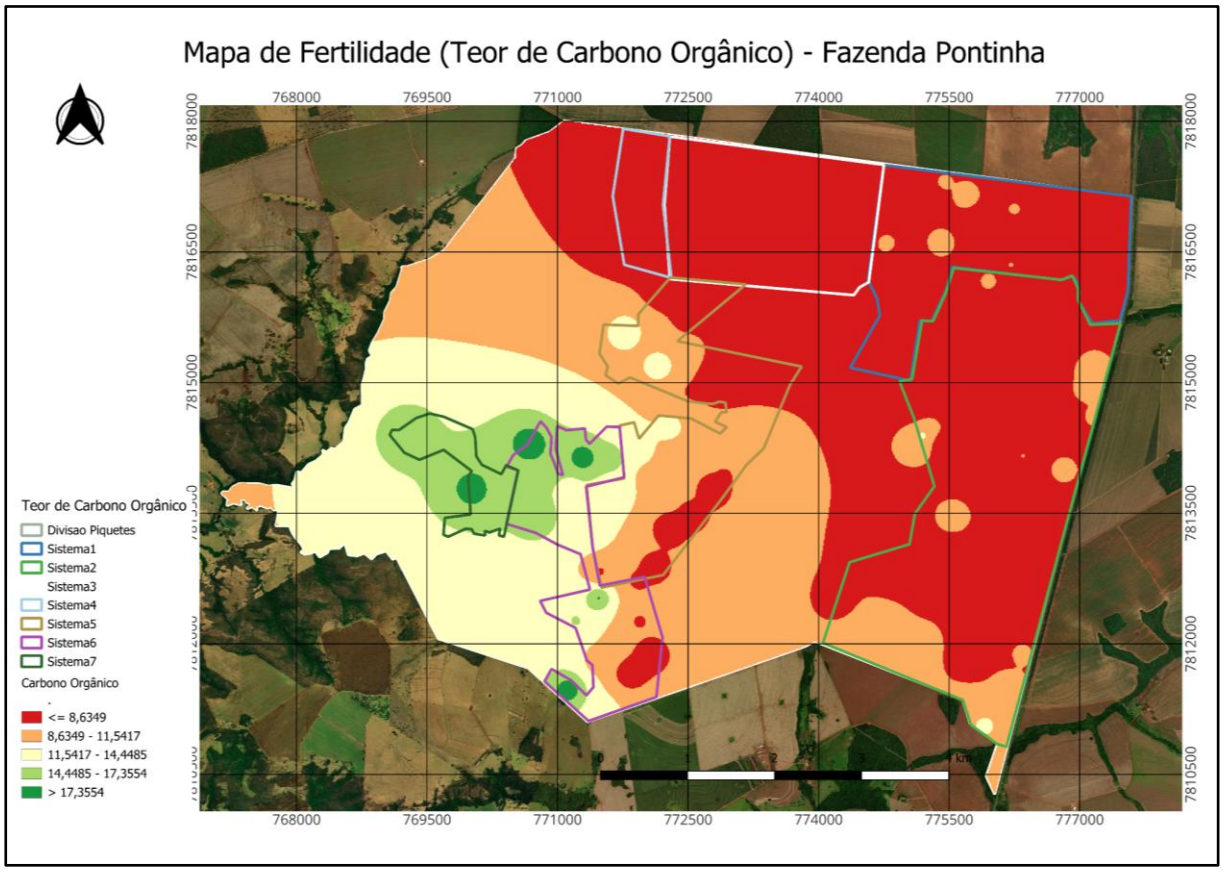


Fonte: Próprio autor.

Deve-se ressaltar que para que haja a correta disponibilidade de nutrientes no solo são necessários níveis mínimos de pH. Conforme o diagrama de Malavolta, o ideal seria manter o pH em torno de 6,5, o que na maioria dos casos não é atendido, levando em consideração a saturação de bases apresentada no mapa supracitado.

Posteriormente, conforme metodologia supracitada, por meio da quantificação de matéria orgânica, foi estimado o teor de carbono presente no solo. O parâmetro por sua vez, se mostrou bastante variável na área de estudo, podendo ser influenciado pelo manejo do sistema de produção e propriedades químicas e biológicas do solo, além disso em um primeiro momento é perceptível a possível relação com a textura do solo.

Figura 6: Mapa de fertilidade de solo (Teor de carbono no solo) na profundidade de 0 a 20 cm, da Fazenda Pontinha no município de Bandeirantes-MS.



Fonte: Próprio autor.

6.2 Análise Estatística dos Resultados

De início, analisa-se o teor de carbono para cada sistema de manejo. Foi perceptível que os menores valores de teor de carbono foram encontrados no sistema de eucalipto adensado (solteiro), seguido do sistema de manejo silvipastoril e por fim as áreas de pastagens apresentaram maiores valores de carbono. Deve-se ressaltar que existe grande variação de fatores como fertilidade e textura de solo, além de claramente o manejo em si.

Em um primeiro momento foi perceptível a relação entre teor de carbono e a textura do solo, representada pela porcentagem de argila, conforme pode ser verificado na Tabela 2 (profundidade de 0 a 20 cm) e (profundidade de 20 a 40 cm). Também houve certa relação entre o teor de carbono orgânico no solo e a saturação de bases, que influencia diretamente na qualidade física e biológica do mesmo.

Tabela 2: Resultados dos parâmetros nos sistemas de produção para profundidade de 0 a 20 cm.

		0-20 cm							Carbono		Argila	
Sistema de Producao	**Siglas dos sistemas de produção**	**Área (há)**	**Pontos de amostragem**	**Média C org**	**Média de % argila**	**Média P (mg/dm³)**	**Média K (cmolc/dm³)**	**V%**	**Desvio Pad.**	**Coef variação (%)**	**Desvio Pad.**	**Coef variação (%)**
Pastagem convencional (Decumbens/Brizantha/ Panicum)	S1	411	24	8,02	14,00	3,86	0,05	36,01	0,892	11,12	0	0
Silvipastoril	S2	908	53	7,96	16,33	3,48	0,06	38,37	1,658	20,84	5,714	35,00
C. Citriodora adensado	S3	360	16	6,75	14,25	2,31	0,04	24,21	0,458	6,79	1,000	7,02
E. Urophylla adensado	S4	90	4	5,90	14,00	2,01	0,03	23,49	0,623	10,56	0,000	0,00
(Decumbens)	S5	425	23	9,26	16,13	2,50	0,05	31,82	2,561	27,66	4,115	25,51
Pastagem convencional (Brizantha)	S6	267	16	14,05	27,75	2,17	0,17	42,24	4,670	33,25	11,018	39,71
Pastagem convencional (Brizantha e Panicum)	S7	78	3	17,71	32,00	3,33	0,25	78,22	1,633	9,22	7,211	22,53

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3: Resultados dos parâmetros nos sistemas de produção para profundidade de 20 a 40 cm.

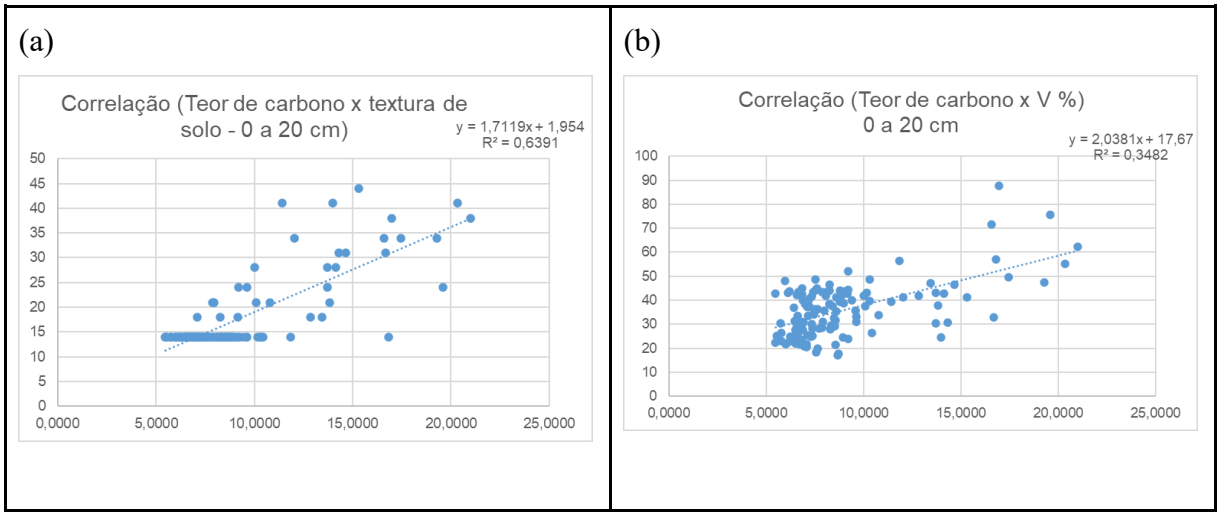
		0-40 cm								Carbono		Argila
Sistema de Producao	**Siglas dos sistemas de produção**	**Área (há)**	**Pontos de amostragem**	**Média C org**	**Média de % argila**	**Média P (mg/dm³)**	**Média K (cmolc/dm³)**	**V%**	**Desvio Pad.**	**Coef variação (%)**	**Desvio Pad.**	**Coef variação (%)**
Pastagem convencional (Decumbens/Brizantha/Panicum)	S1	411	24	5,56	19,13	1,87	0,03	31,44	0,509	9,15	1,484	7,76
Silvipastoril	S2	908	53	5,64	20,84	2,11	0,04	27,11	1,300	23,05	7,118	34,16
C. Citriodora adensado	S3	360	16	5,13	18,19	1,37	0,01	20,32	0,406	7,90	0,750	4,12
E. Urophylla adensado	S4	90	4	4,87	18,00	1,33	0,01	22,24	0,504	10,34	0,000	0,00
Pastagem convencional (Decumbens)	S5	425	23	6,62	21,52	1,53	0,03	25,22	2,139	32,33	5,451	25,33
Pastagem convencional (Brizantha)	S6	267	16	10,30	34,75	1,27	0,10	31,56	4,199	40,77	12,003	34,54
Pastagem convencional (Brizantha e Panicum)	S7	78	3	13,59	39,67	1,97	0,16	73,94	2,059	15,15	9,074	22,88

Fonte: Elaboração própria.

Com a análise de literatura, percebe-se a clara influência entre sistemas de manejo, textura do solo e teor de carbono orgânico, estudada por diversos pesquisadores. Os sistemas de manejo possuem papel fundamental no teor de carbono no solo, de modo que podem levar à perda acelerada dos estoques de carbono de origem orgânica (Loss et al., 2011). Entretanto, Solos de textura argilosa, com elevados teores de óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), contribuem para aumentar a estabilidade do carbono orgânico em razão da alta capacidade de proteção na forma de complexos organominerais (Roscoe; Buurman, 2003). Desta forma, entende-se o porquê solos argilosos tendem a apresentar teores de carbono orgânico mais elevados (Resende et al., 2002; Zinn et al., 2005). No estudo em questão, algumas áreas de pastagem apresentam maior teor de carbono se comparadas a regiões com eucalipto, porém deve destacar que o solo onde está disposta a atividade de silvicultura, em geral se mostra bastante arenoso, no caso das pastagens o teor de argila se mostra bastante diverso.

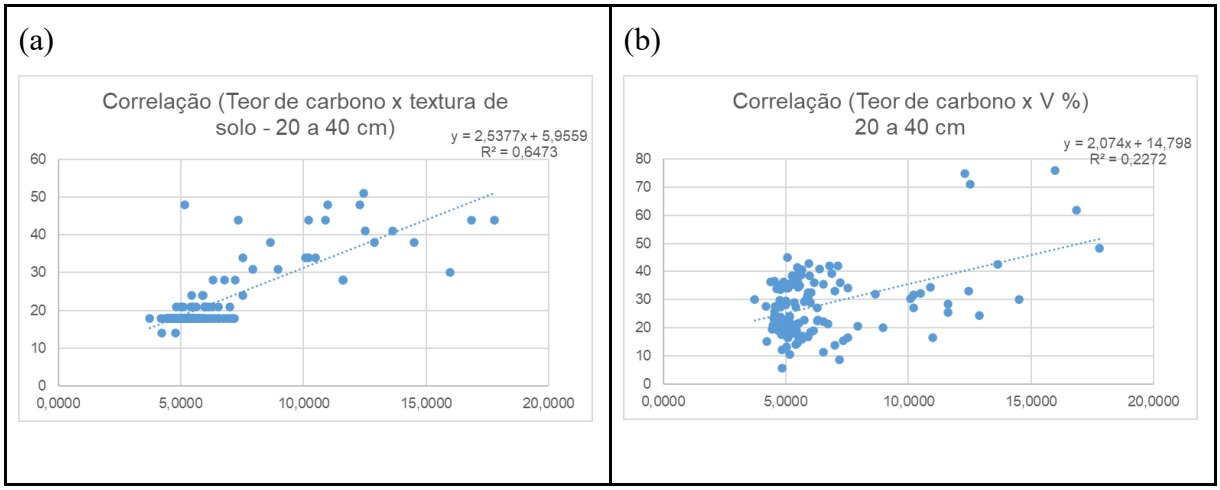
Tendo em vista tais resultados iniciais, foi calculada a correlação entre os parâmetros anteriormente citados. De modo que, tanto para profundidade de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm houve correlação bastante alta e positiva (R = 0,8) entre teor de carbono e % de argila, de modo que solos mais argilosos tendem a apresentar maior quantidade de carbono. Por sua vez, a saturação de bases também apresentou correlação com teor de carbono positiva e significante, sendo na profundidade de 0 a 20 cm quase 0,6 (R = 0,59) e para 20 a 40 cm aproximadamente 0,5 (R = 0,49), conforme trazido nas Tabelas 2 e 3 e Quadro 1 e 2.

Figura 7: Gráfico de correlação entre teor de carbono e textura de solo (a) e teor de carbono e saturação de bases (b) para profundidade de 0 a 20 cm.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 8: Gráfico de correlação entre teor de carbono e textura de solo (a) e teor de carbono e saturação de bases (b) para profundidade de 20 a 40 cm.



Fonte: Elaboração própria.

Sendo assim, pode-se perceber que para o presente estudo a textura e as características físicas do solo influenciam mais se comparado aos sistemas da produção, e que essa relação diminui com a profundidade avaliada. Nesse ínterim, Silva (2006), percebeu que os sistemas de manejo afetaram o teor de carbono orgânico no solo na camada superficial de 0–2,5 cm, onde os resíduos culturais se concentravam. Como o estudo em questão teve também como objetivo

avaliar a qualidade do solo e que posteriormente o financiador de parte da pesquisa pudesse também realizar recomendações de correção e adubação, a camada mais superficial era até 20 cm, não sendo assim possível avaliar na profundidade supracitada.

Em outros casos, outros pesquisadores já relataram a influência da textura do solo no teor de carbono em relação ao manejo de solo. Por sua vez, Roscoe & Buurman (2003) encontraram taxa negativa ou praticamente nula no plantio direto, em comparação ao plantio convencional em Latossolo com 80% de argila. No caso supracitado, o efeito da textura do solo parece ser mais relevante que o efeito da operação de preparo do solo.

Tendo em vista os resultados apresentados anteriormente, pode-se pensar em uma possível relação entre saúde do solo e teor de carbono. Para sistemas agrícolas, saúde do solo refere-se a "capacidade continuada de um solo manter-se equilibrado sob o ponto de vista químico, físico e biológico, sustentando processos e funções que proporcionem um ambiente favorável para o crescimento das plantas" (CHERUBIN; SCHIEBELBEIN, 2022). Seguindo nesse mesmo caminho, Fontana (2024) relaciona o carbono orgânico como um indicador de qualidade de manejo, trazendo alguns níveis de referência para diferentes tipos de solos e biomas.

Utilizando a classificação trazida por Fontana et. al. (2024) os solos da área de estudo atingiram minimamente níveis médios de manejo de solo, conforme visto na Tabela 4 e 5. Entretanto, sistemas com menores valores de saturação de bases estão próximos a serem definidos como baixo. Tal fato pode estar ligado à saúde do solo, de modo que em solos com menor saturação de bases, tem-se menor disponibilidade de nutrientes, solos mais ácidos e possivelmente com menor atividade biológica, sendo esses os com menor teor de carbono no solo. A partir disso, pode-se também perceber a dificuldade de estocar carbono orgânico em solos mais arenosos, mesmo com manejo adequado, mais uma vez evidenciando que a textura do solo e a fixação de carbono são fatores intimamente ligados.

Tabela 4: Classificação do nível de qualidade de manejo em profundidade de 0 a 20 cm.

Sistema de Producao	Siglas dos sistemas de produção	Média C org	Desvio Pad. (C org)	Coef variação (%) (C org)	Média de % argila	Desvio Pad. (% argila)	Coef variação (%) (% argila)	Nível
Pastagem convencional (Decumbens/Brizantha/Panicum)	S1	8,02	0,892	11,12	14,00	0,00	0,00	Alto
Silvipastoril	S2	7,96	1,658	20,84	16,33	5,71	35,00	Médio
C. Citriodora adensado	S3	6,75	0,458	6,79	14,25	1,00	7,02	Médio
E. Urophylla adensado	S4	5,90	0,623	10,56	14,00	0,00	0,00	Médio
Pastagem convencional (Decumbens)	S5	9,26	2,561	27,66	16,13	4,12	25,51	Médio
Pastagem convencional (Brizantha)	S6	14,05	4,670	33,25	27,75	11,02	39,71	Médio
Pastagem convencional (Brizantha e Panicum)	S7	17,71	1,633	9,22	32,00	7,21	22,53	Alto

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5: Classificação do nível de qualidade de manejo em profundidade de 20 a 40 cm.

Sistema de Producao	Siglas dos sistemas de produção	Média C org	Desvio Pad. (C org)	Coef variação (%) (C org)	Média de % argila	Desvio Pad. (% argila)	Coef variação (%) (% argila)	Nível
Pastagem convencional (Decumbens/Brizantha/Panicum)	S1	5,56	0,51	9,15	19,13	1,48	7,76	Médio
Silvipastoril	S2	5,64	1,30	23,05	20,84	7,12	34,16	Médio
C. Citriodora adensado	S3	5,13	0,41	7,90	18,19	0,75	4,12	Médio
E. Urophylla adensado	S4	4,87	0,50	10,34	18,00	0,00	0,00	Médio
Pastagem convencional (Decumbens)	S5	6,62	2,14	32,33	21,52	5,45	25,33	Médio
Pastagem convencional (Brizantha)	S6	10,30	4,20	40,77	34,75	12,00	34,54	Alto
Pastagem convencional (Brizantha e Panicum)	S7	13,59	2,06	15,15	39,67	9,07	22,88	Alto

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, deve-se destacar que o método de obtenção dos valores é sim confiável e pode ser utilizado, contudo Fontana et. al. (2024) destaca que para melhor acurácia o método mais indicado é o direto, obtendo a concentração (teor) de carbono orgânico, a densidade aparente do solo (com auxílio de aneis volumétricos para amostras indeformadas) e a espessura da camada amostrada. Todavia, novamente deve ser levada em consideração a extensão da área de estudo, aproximadamente 2800 hectares, sendo assim inviável, principalmente por questões financeiras.

7 CONCLUSÃO

No presente estudo foi possível perceber que pastagens e sistemas de integração pecuária-floresta apresentam potencial relevante, principalmente quando associados a práticas de manejo adequadas, podendo contribuir para a manutenção ou incremento dos estoques de carbono ao longo do tempo.

Ademais, foi perceptível que o teor de carbono está ligado a um conjunto de fatores, tanto químicos quanto físicos, dentre eles a textura de solo e saturação de bases. A quantidade de argila apresentou a maior influência sobre os níveis de carbono, evidenciando que solos mais argilosos tendem a armazenar maiores quantidades desse elemento. A saturação de bases demonstrou relação significante e positiva com o teor de carbono, indicando que solos com melhor fertilidade favorecem condições mais adequadas para o acúmulo de matéria orgânica.

Por fim, é importante frisar que o tipo de solo e a profundidade da amostragem trouxeram impacto relevante para a pesquisa. No estudo, menor profundidade foi de 0 a 20 cm, de modo que existe a possibilidade dos sistemas de produção e manejo do solo terem maior influência em camadas mais superficiais, onde em alguns casos é possível encontrar maior concentração de matéria orgânica. Sendo assim, seria aconselhável que novas pesquisas sejam realizadas visando verificar o potencial de acúmulo de carbono dos mesmos sistemas em realidades diferentes. Além disso, foi perceptível o desafio para fixação de carbono principalmente em solos arenosos, para aumentar esse teor no solo, sugere-se investir no manejo das pastagens, de modo a melhorar o enraizamento e aeração, além de realizar outras técnicas de recuperação das forrageiras como calagem, gessagem e se for viável financeiramente adubação, se possível sem revolvimento do solo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Conheça a ABNT. Disponível em: http://www.abnt.org.br/. Acesso em: 19 ago. 2024.

ADHIKARI, Gopi; BHATTACHARYYA, Krishna G. Correlation of soil organic carbon and nutrients (NPK) to soil mineralogy, texture, aggregation, and land use pattern. Environmental monitoring and assessment, v. 187, n. 11, p. 735, 2015.

ANDRADE, R. G. et al. Avaliação das condições de pastagens no cerrado brasileiro por meio de geotecnologias. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), v.7, n.1, p.34-41, Março, 2017.

AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 16., 2009, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: [s.n.], 2009.

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

BRASIL. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm> consulta realizada em 04 de junho de 2025.

CHERUBIN, M. R.; SCHIEBELBEIN, B. E. Saúde do solo: múltiplas perspectivas e percepções. São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP), 2022. DOI: https://doi.org/10.11606/9786587391342, p 11.

CORDEIRO, L. A. M. *et al*. Estratégias para recuperação e renovação de pastagens degradadas no Cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2022. 27 p. (Documentos / Embrapa Cerrados, n. 397). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1152245/1/Doc-397-web.pdf. Acesso em: 10 jan. 2026.

CORDEIRO, R.C. Estoques de carbono do solo sob integração lavoura-pecuária-floresta. In: Embrapa Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma agropecuária sustentável. Brasília: Embrapa, 2019. p.253-259.

COTTON, W. R.; PIELKE, R. A. Human impacts on weather and climate. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 288p.

FERRAZ,J.B.S.;FELÍCIO,P.E.D. Production systems na example from Brazil. Meat Science, Barking, v.84, n.2, p.238-243, fev. 2010.

FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. de. Carbono orgânico. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). Manual de métodos de

análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 3, cap. 1, p. 360-367. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/ item/194453/1/Pt-3-Cap-1-Carbono-organico.pdf. Acesso em: 22 out. 2025.

FONTANA, A. Protocolo para coleta de amostras e quantificação do carbono no solo da agricultura de baixo carbono. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2024.

FONTANA, A.; et al. Níveis de referência do carbono orgânico no solo sob vegetação natural dos biomas brasileiros. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2024.

IPCC. **Mudanças Climáticas 2021: a base da ciência física**: Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Genebra: IPCC, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/. Acesso em: 6 ago. 2026.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n. 10, p. 565-579,

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens. Campo Grande, MS : Embrapa Gado de Corte, 2000. 4 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado técnico, 62).

MATOS, E. da S.; CONCEIÇÃO, M.C.G. da; RODRIGUES, R. de A.R.; BIDONE, E.D.;

MAPBIOMAS. Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. São Paulo: Rede MapBiomas, 2024. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/. Acesso em: 6 fev. 2026.

LEITE, F. F. G. Dorilêo et al. Land use change effect on organic matter dynamics and soil carbon sequestration in the Brazilian Cerrado: A study case in Mato Grosso do Sul state (Midwest-Brazil). Catena, v. 249, p. 108670, 2025.

GUEDES, M. P. Culicidae (diptera) no Brasil: relações entre diversidade, distribuição e enfermidades. O ecologia Australis, v. 16, n. 2, p. 283-296, 2012.

IPCC, 2021: Mudanças Climáticas 2021 - a Base da Ciência Física, Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, SL Connors, C Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, MI Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, JBR Matthews, TK Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu e B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, no prelo, publicado: 9 de agosto de 2021.

PEREIRA, N, C. et al. Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do município de Bandeirantes - MS / Nilson Rendeiro Pereira ... [et al.]. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2012.

PROJETO RURAL SUSTENTÁVEL CERRADO. Sobre o Projeto. Disponível em:

<https://www.ruralsustentavel.org/projeto/sobre-o-projeto/>. Acesso em: 28 de jan. de 2024.

PLANO ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) . Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, Brasília, 2012.

PULROLNIK, K.; VILELA, L.; FERREIRA, I. C.; SOUZA, K. W. Estoques de Carbono e Nitrogênio no Solo e Biomassa Florestal em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária- Floresta no Cerrado. Embrapa Cerrados, 2021. 23 p.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. Soil and Tillage Research, v.70, p.107-119, 2003.

SANTOS, H. Q. et al. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v. 26, n. 1, p.173-182, jan./fev. 2002

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. Land cover mapping of the tropical savana region in Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, v.166, p.113-124, 2010.

SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Observatório do Clima. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#>. Acesso em: 30 de jan. 2024.

SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Relatório analítico: análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil. [S. l.]: Observatório do Clima, 2026. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2026/03/SEEG13-relatorio-analitico-BR.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2026.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Download da Base de Dados de Municípios. 2022. Disponível em: http://seeg.eco.br/download. Acesso em: 30 de jan. 2024.

SILVA, M. A. S. et al. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo , Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 329-337, 2006b.

SILVA, Carlos Alberto; CERRI, Carlos Eduardo Pellegrino; et al. Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2023. cap. 1, p. 17-47. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1161302. Acesso em: 10 dez. 2025.

SOUSA, S. B. DINÂMICA TERRITORIAL E PADRÕES ESPACIAIS DA PECUÁRIA BRASILEIRA. [s.l.] Universidade Federal de Goiás, 2017.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* (ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p. Disponível em: embrapa.br. Acesso em: 6 out. 2025.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, v. 37, n. 1, p. 29-38, Jan. 1934. DOI: http://dx.doi. org/10.1097/00010694-193401000-00003.

VILELA, L. et al. Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007.

ZIMMER, A.H.; MACEDO, M.C.M.; KICHEL, A.N.; ALMEIDA, R.G. de. Degradação, recuperação e renovação de pastagens Embrapa Gado de Corte, 2012. 42p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 189).