



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS SETE LAGOAS

RAFAELA SILVA CARVALHO

DINÂMICA DO ESTOQUE DE CARBONO RADICULAR NO
CERRADO DE MINAS GERAIS

Sete Lagoas, MG

2023

RAFAELA SILVA CARVALHO

**DINÂMICA DO ESTOQUE DE CARBONO RADICULAR NO
CERRADO DE MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia de Florestal da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Florestal.

Orientadora: Dra. Marcela C. N. S. Terra

Coorientadora: Dra. Natielle Gomes Cordeiro

Sete Lagoas, MG

2023

RAFAELA SILVA CARVALHO

**DINÂMICA DO ESTOQUE DE CARBONO RADICULAR NO
CERRADO DE MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia de Florestal da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Florestal.

Sete Lagoas, 06 de novembro de 2023.

Banca avaliadora:

Dra. Marcela de Castro Nunes Santos Terra - UFSJ

Dra. Natielle Gomes Cordeiro - UFLA

MSc. Bruna Duque Guirardi - UFV/UFSJ

**Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o que, com frequência,
poderíamos ganhar, por simples medo de arriscar.**

William Shakespeare

*Dedico a minha mãe, Magalene, ao meu parceiro
Tiago e ao amigo Wildson por todo apoio e
incentivos concedidos durante essa jornada. Por
serem a minha base e alicerce durante toda a trajetória.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter conseguido a graça de hoje estar aqui celebrando essa vitória. Meu futuro começou quando você, mãe, apostou todas as fichas em mim. Enquanto fui sonho, você foi minha âncora, meus pés no chão, e nunca duvidou da minha capacidade. Foi você que me ensinou a ser forte, agradeço por todas as orações e pelo seu amor dedicado a mim. Agradeço a você João que não mediu esforços para me aconselhar e ajudar em todas as decisões que tive ao longo do caminho, a minha irmã que me ajudou em momentos difíceis e que me deu dois afilhados onde me inspiro a ser melhor todos os dias, ao meu amigo Wil que se não fosse ele não tinha chegado onde estou, a você Tiago, meu companheiro que não largou minha mão em nenhum momento, a minha segunda família de Paraopeba, a Loli e Maia que me dá carinho e amor e a todos aqueles que torceram pelo meu sucesso. Depois de tanta persistência, noites de estudo sem fim, entre algumas derrotas, mas também muitas vitórias, finalmente consegui chegar ao tão aguardado momento. É hora de olhar para trás, sentir um pouco de orgulho por todo caminho percorrido. O tempo passou! Ficaram para trás o convívio diário, os bate-papos, as aulas, as brincadeiras em sala, as confusões, enfim, um tempo que não volta mais. Mas posso me considerar vitoriosa, pois concretizei um dos meus sonhos, transformando-o em realidade. Mais importante do que terminar o que comecei é estar sempre disposto a recomeçar. A vida é uma sequência de fins e começos!

Agradeço à minha orientadora Marcela, por toda a paciência, companheirismo, dedicação e por não ter desistido de mim em momento algum, a minha coorientadora Natielle por todo seu conhecimento, suporte e ajuda com as bases de dados. Vocês duas foram a minha melhor escolha.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
2.1 Cerrado	9
2.2 Raízes no Cerrado: características e peculiaridades	123
2.3 Estoque de carbono: relevância e métodos de medição.....	156
2.4 Fragmentação do Cerrado e seus efeitos no estoque de carbono.....	17
2.5 Técnicas de medição e modelagem do estoque de carbono no Cerrado.....	20
2.6 Perspectivas e desafios para conservação do Cerrado e seu carbono	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Área de estudo	25
3.2. Coleta de dados.....	26
3.3 Cálculo do estoque de carbono radicular e processamento do inventário	28
3.4 Cálculo das taxas de dinâmica do estoque de carbono radicular	28
4. RESULTADOS	29
5. DISCUSSÃO	33
5.1 Estoques de carbono radicular	34
5.2 Mortalidade e Recrutamento.....	35
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
7. REFERÊNCIAS	38

RESUMO

Este trabalho investiga a dinâmica do estoque de carbono radicular em áreas de Cerrado em Minas Gerais, com o objetivo de compreender a saúde e a resiliência do domínio bem como sua capacidade de sequestro de carbono. Devido à sua capacidade de capturar carbono da atmosfera, essa ação assume um papel de relevância, que se traduz na mitigação da elevada concentração de gases de efeito estufa. Por meio de levantamentos de campo detalhados e análises estatísticas, foram examinadas a mortalidade, recrutamento e estoque de carbono radicular. Para desenvolvimento do trabalho realizou-se inventários em quatro fragmentos de Cerrado situados em Brasilândia de Minas, Pompéu, João Pinheiro e Olhos d'Água. Para tanto, foram alocadas parcelas 10 x 100m (1000 m²) nas áreas de interesse e todos os indivíduos com diâmetro à 1,30 metros do solo (DAP) $\geq$ 5cm foram medidos. Os indivíduos que atenderam o critério de inclusão tiveram a altura total mensurada, assim como se empregou a identificação botânica. Os resultados indicam que o acúmulo de carbono apresentou um crescimento contínuo em todos os fragmentos e períodos analisados, confirmando, assim, a habilidade da formação em atuar como um sumidouro de carbono. A taxa de recrutamento em comparação com a mortalidade sugere uma capacidade inerente de regeneração do Cerrado. As descobertas têm implicações profundas para a conservação e manejo sustentável do Cerrado, enfatizando a necessidade de estratégias informadas que considerem tanto a biodiversidade quanto o papel do domínio no ciclo global de carbono. Este estudo contribui para o conhecimento sobre o Cerrado, fornecendo dados e análises que podem subsidiar a elaboração de políticas de conservação, estratégias de manejo e iniciativas de restauração. Além disso, destaca a importância do Cerrado no sequestro de carbono, reforçando a necessidade de considerar os ecossistemas naturais como aliados cruciais na luta contra as mudanças climáticas.

Palavras-chave: Savana brasileira. Sequestro de Carbono. Dinâmica Populacional. Conservação. Manejo Sustentável.

ABSTRACT

This study investigates the dynamics of root carbon stock in Cerrado areas in Minas Gerais, aiming to understand the health and resilience of the biome, as well as its carbon sequestration capacity. Due to its ability to capture carbon from the atmosphere, this action plays an important role, which translates into mitigating the high concentration of greenhouse gases. Through detailed field surveys and statistical analyses, mortality, recruitment and root carbon stock were examined. To develop the work, inventories were carried out in four fragments of Cerrado located in Brasilândia de Minas, Pompéu, João Pinheiro and Olhos d'Água. In each fragment, plots of , 10 x 100m (1000 m²) were allocated and all arboreal individuals with a diameter at 1.30 meters from the ground (DBH) $\geq$ 5cm were measured. The tree individuals that met the inclusion criteria had their total height measured, as well as botanical identification. The results indicate that carbon accumulation showed continuous growth in all fragments and periods analyzed, thus confirming the ability of the vegetation in acting as a carbon absorber. The rate of recruitment compared to mortality suggests an inherent capacity for Cerrado regeneration. The findings have profound implications for the conservation and sustainable management of the Cerrado, emphasizing the need for informed strategies that consider both biodiversity and the biome's role in the global carbon cycle. This study contributes to the knowledge about the Cerrado by providing data and analysis that can guide the elaboration of conservation policies, management strategies and restoration initiatives. Furthermore, it highlights the importance of the Cerrado in carbon sequestration, reinforcing the need to consider natural ecosystems as crucial allies in the fight against climate change.

Key words: Brazilian savanna. Carbon Sequestration. Population Dynamics. Conservation. Sustainable Management.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado, segundo maior domínio do Brasil, é um mosaico de biodiversidade e ecossistemas únicos. Apesar de sua importância ecológica e climática, o domínio enfrenta desafios significativos, incluindo o desmatamento e as mudanças climáticas. Este trabalho busca mergulhar nas complexidades do Cerrado, com foco particular na dinâmica do estoque de carbono radicular, sendo essa uma área de estudo fundamental para compreender o papel do domínio no ciclo global de carbono e sua capacidade de mitigar as mudanças climáticas.

O objetivo deste estudo é investigar as tendências no decremento, incremento, mortalidade, recrutamento, perda, ganho, rotatividade e mudança líquida de estoque de carbono radicular em áreas de Cerrado em Minas Gerais. Ao fazê-lo, busca-se não apenas compreender melhor a dinâmica e a saúde do ecossistema, mas também avaliar a capacidade do Cerrado de funcionar como um sumidouro eficaz de carbono.

Para atingir esses objetivos, foi adotada uma metodologia que combina levantamentos de campo detalhados e análises estatísticas. Os levantamentos de campo foram conduzidos ao longo de um intervalo de tempo, este cuidadosamente definido para capturar as flutuações sazonais e as respostas do ecossistema à possíveis eventos de perturbação. Já as análises estatísticas, estas foram empregadas para interpretar os dados coletados, identificando tendências e padrões significativos.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: após esta introdução, o tópico 2 apresenta uma revisão da literatura, contextualizando o Cerrado no cenário ecológico e climático global. O tópico 3 descreve a metodologia em detalhes, enquanto o Capítulo 4 apresenta e analisa os resultados. O tópico 5 discute as implicações ecológicas das descobertas e, no tópico 6, conclui-se o trabalho com um resumo dos principais achados, destacando a relevância do estudo para a conservação do Cerrado e para a pesquisa ecológica futura.

Através desta estrutura, o trabalho visa oferecer ao leitor uma compreensão abrangente da dinâmica do estoque de carbono radicular no Cerrado, destacando sua importância e desafios, bem como contribuindo para a base de conhecimento necessária para sua conservação eficaz e manejo sustentável.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

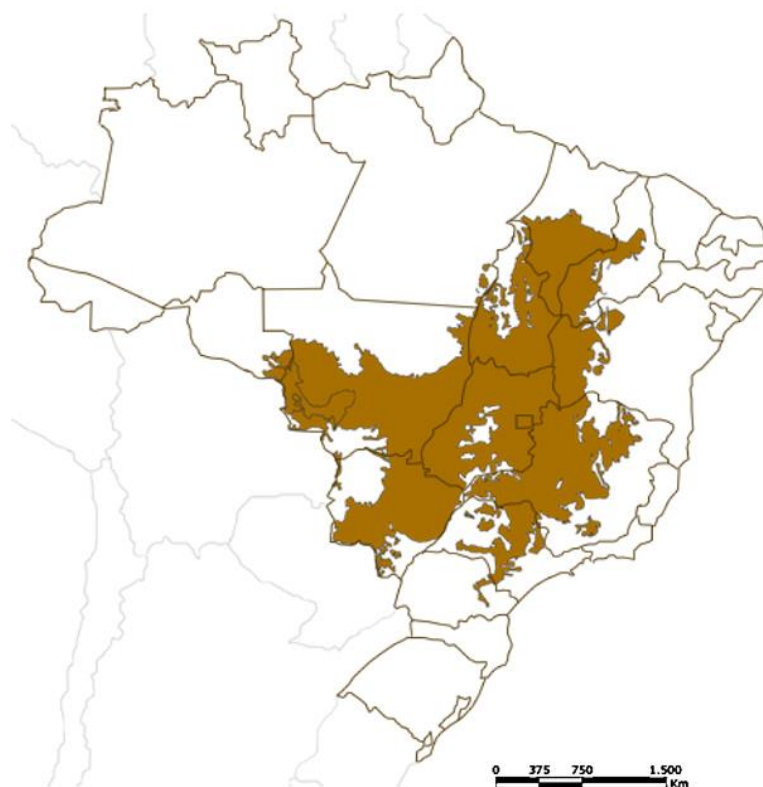
2.1 Cerrado

O Cerrado, vasto e diversificado, é o segundo maior domínio do Brasil, e sua presença em Minas Gerais é marcante. Este domínio, por vezes descrito como a savana brasileira, desempenha um papel crucial para a biodiversidade, os recursos hídricos e o equilíbrio climático do país, a flora e a fauna nativas do Cerrado estão bem adaptadas ao clima árido da região (Figura 1).

O domínio é também, por muitas vezes, chamado de “floresta de cabeça para baixo”, uma vez que seus solos antigos, profundos e ácidos incentivam a vegetação nativa a criar raízes profundas. A saber, os arbustos e árvores pouco visíveis acima da superfície fornecem a maior parte de sua biomassa (até 75%) e carbono. Assim, no subsolo, um método de extração e reposição de água subterrânea. Em suma, os sistemas radiculares invulgarmente longos e bem desenvolvidos desempenham um serviço ecossistêmico vital, canalizando a água da chuva e outras águas superficiais de volta para reservatórios profundos no solo.

A importância do Cerrado se estende além de suas fronteiras geográficas, sendo reconhecido como um dos "*hotspots*" de biodiversidade do mundo (MYERS et al., 2000). A distinção de "*hotspot*" não é trivial, pois identifica regiões com alta diversidade de espécies, muitas destas endêmicas, mas com significativas ameaças à sua conservação.

Figura 1: Mapa do domínio Cerrado no Brasil.



Legenda: Em marrom evidenciando o domínio Cerrado e em branco os demais biomas.
Fonte: www.wwf.org.com.br

Em Minas Gerais, a presença do Cerrado é um tesouro natural, tanto em termos de diversidade biológica quanto cultural. A biodiversidade deste domínio vai muito além da sua flora exuberante e fauna única; ela é intrínseca à identidade e história do povo mineiro. No entanto, a crescente pressão antropogênica, como desmatamento e uso insustentável dos recursos, tem colocado esta biodiversidade em risco (STRASSBURG et al., 2017).

O Cerrado mineiro, assim como em outras regiões do Brasil, tem sido palco de intensas transformações. A exemplo, a expansão agrícola e a crescente urbanização têm levado à fragmentação e à perda de habitats (FRANÇOSO et al., 2015). Tais transformações não afetam apenas a biodiversidade, mas também os serviços ecossistêmicos, como a regulação do clima e a purificação da água, essenciais para a qualidade de vida das populações locais e para o equilíbrio do domínio (CARVALHO, F. M. V et al., 2009).

Nesse contexto, é imprescindível mencionar que a conservação do Cerrado em Minas Gerais é vital não apenas para a preservação da biodiversidade local, mas também para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas adjacentes. O Cerrado é conectado a outras grandes paisagens, como a Amazônia, Caatinga, Pantanal e a Mata Atlântica, e as atividades desenvolvidas em seu território podem influenciar diretamente esses outros domínios (CARVALHO, F. M. V et al., 2009).

Por fim, as iniciativas de conservação são mais do que necessárias para preservar o legado do Cerrado mineiro para as futuras gerações. Apesar das crescentes ameaças, ainda existem áreas de Cerrado em Minas Gerais que permanecem relativamente intactas e ricas em biodiversidade. No entanto, como apontado por FERREIRA, R. Q. S. et al. (2016), ações imediatas e estratégicas são necessárias para garantir que este domínio continue sendo uma fonte de orgulho e recurso para Minas Gerais e para o Brasil.

No que se refere à biodiversidade do Cerrado, sua singularidade é incontestável. Como citado por FERREIRA, R. Q. S. et al. (2016, p. 342), “O Cerrado não é apenas um patrimônio brasileiro, mas uma das maiores riquezas ecológicas do mundo, cuja conservação é imperativa para a estabilidade ecológica global”. Esta citação traz à tona o significado do Cerrado não apenas no contexto nacional, mas também no cenário mundial.

Dada a sua rica diversidade, o Cerrado serve como casa para várias espécies endêmicas, isto é, que não são encontradas em outros lugares no planeta. No entanto, essa singularidade está sob ameaça. MYERS et al. (2000, p. 853) reiteram que “o ritmo acelerado

de alteração e fragmentação do habitat no Cerrado representa uma das maiores ameaças à biodiversidade”. Esse ritmo alarmante de transformações tem consequências não apenas para as espécies que nele habitam, mas também para os humanos que dependem dos serviços e recursos proporcionados por este domínio.

A relação simbiótica entre o homem e o Cerrado é antiga. A cultura e tradições de comunidades locais, muitas vezes, se moldaram com base nas características deste domínio. No entanto, a atual trajetória de exploração insustentável ameaça essa relação. Segundo STRASSBURG et al. (2017, p. 47), “o equilíbrio entre uso e conservação do Cerrado é essencial não apenas para a sustentabilidade do domínio em si, mas também para a saúde e bem-estar das comunidades que nele residem”.

Além das considerações sobre biodiversidade e cultura, existe uma preocupação emergente sobre o papel do Cerrado no sequestro e armazenamento de carbono. A saber, as raízes profundas da vegetação do Cerrado desempenham um papel vital na captura e armazenamento de carbono, tornando-o essencial na luta contra as mudanças climáticas (TERRA et al., 2023). Em uma análise profunda, FRANÇOSO et al. (2015, p. 288) apontam que “a dinâmica do estoque de carbono radicular no Cerrado tem implicações diretas nas emissões de CO₂, com potenciais consequências para a regulação climática regional e global”. Esta observação ressalta a urgência na conservação do Cerrado, visto que qualquer perturbação neste domínio pode ter repercussões em escala global. Além disso, os padrões de precipitação em várias regiões do Brasil estão intrinsecamente ligados à saúde do Cerrado, uma vez que o domínio atua como uma esponja, absorvendo e liberando água e influenciando, assim, os ciclos hidrológicos (CARVALHO, F. M. V et al., 2009, p. 512).

Em conclusão, é vital reconhecer e valorizar a importância do Cerrado, não só como um repositório de biodiversidade, mas também como um pilar central na luta contra as mudanças climáticas e na sustentação da vida e cultura das populações locais. Como bem coloca FERREIRA, R. Q. S. et al. (2016, p. 349), “o futuro do Cerrado está nas mãos da sociedade atual, e as decisões tomadas hoje determinarão o legado que será deixado para as futuras gerações”. É, portanto, um chamado à ação, para que o valor intrínseco do Cerrado seja reconhecido e respeitado.

2.2 Raízes no Cerrado: características e peculiaridades

O Cerrado, conhecido por sua biodiversidade impressionante e paisagens diversificadas, é também reconhecido por sua estrutura radicular peculiar, que desempenha um

papel vital na regulação do carbono da região. O entendimento dessa estrutura radicular e suas interações com o ambiente circundante é fundamental para uma compreensão abrangente da dinâmica do carbono neste ecossistema.

De acordo com MIRANDA, C. de et al. (2014, p. 232), "O Cerrado possui um sistema radicular profundo e extenso, que lhe confere resistência às adversidades climáticas e permite o acesso a recursos hídricos e nutricionais de camadas mais profundas do solo". Esta estratégia de sobrevivência, de desenvolver raízes profundas, é uma resposta às condições sazonais do Cerrado, onde períodos de seca são intercalados com épocas de chuvas torrenciais. Além de proporcionar acesso a recursos vitais, este sistema radicular serve como um reservatório subterrâneo de carbono.

Em continuidade a essa observação, SILVA NETO, V. L. et al. (2016, p. 278) pontuam: "a capacidade do Cerrado de estocar carbono nas raízes é uma característica singular que o distingue de outros domínios tropicais". Este mecanismo de estocagem não só auxilia na manutenção do equilíbrio do carbono na região, mas também oferece oportunidades para pesquisas e práticas sustentáveis voltadas para a mitigação das mudanças climáticas.

A natureza complexa e adaptativa do sistema radicular do Cerrado é também um reflexo das interações planta-solo que ocorrem neste domínio. MORAIS, V. A. et al. (2017, p. 105) destacam que "a composição química do solo do Cerrado, rica em alumínio e pobre em nutrientes, influencia diretamente a morfologia e funcionalidade das raízes, resultando em uma variedade de estratégias adaptativas". Esta interação íntima entre as raízes e o solo é uma característica marcante do Cerrado, demonstrando a resiliência e adaptabilidade deste ecossistema.

Portanto, é importante destacar o papel das raízes na interação planta-ambiente. LOPES, R. B.; MIOLA, D. T. B. (2010, p. 94) resumem essa relação ao declarar que "as raízes do Cerrado são tanto uma resposta adaptativa às condições ambientais quanto um facilitador na manutenção dessas condições". Assim, ao buscarmos soluções para as questões ambientais atuais, é crucial que olhemos não apenas acima, mas também abaixo da superfície, reconhecendo e valorizando a intrincada rede de vida que reside no subsolo do Cerrado.

A forma como as plantas do Cerrado desenvolveram esses sistemas radiculares tão especializados tem uma justificativa bem fundamentada. "O solo do Cerrado, com sua composição química única e camadas compactadas, exige que as plantas desenvolvam estratégias para acessar água e nutrientes em profundidades que outras plantas em diferentes ecossistemas simplesmente não alcançariam", afirmam MIRANDA, C. de et al. (2014, p. 239). Esta capacidade de acessar recursos em camadas profundas do solo não é apenas uma

curiosidade botânica, mas também uma estratégia vital para a sobrevivência em um ambiente que pode ser tanto generoso quanto inóspito.

A profundidade e complexidade da rede radicular no Cerrado representam não apenas uma adaptação evolutiva às condições do solo, mas também um componente crucial no ciclo de carbono deste domínio. À medida que avançamos em nossa compreensão dos sistemas ecológicos, fica evidente que o entendimento profundo das raízes e sua dinâmica é tão vital quanto o estudo das partes aéreas das plantas.

O sequestro de carbono não ocorre apenas nas partes visíveis e aéreas das plantas, mas também, e talvez principalmente, no subsolo. RIBEIRO, S. C. et al. (2017, p. 122) reforçam essa ideia ao afirmar que "a maior parte do carbono sequestrado no Cerrado está, de fato, abaixo da superfície, nas extensas redes radiculares que se espalham pelo subsolo". Terra et al. (2023) apresentam dados nesse sentido: em média, o estoque de carbono em raízes no Cerrado é 1,5 maior que o estoque da parte aérea das árvores. Esses dados reiteram a importância de se estudar e compreender a dinâmica radicular neste domínio.

A interação entre raízes e solo destaca a capacidade do Cerrado de atuar como um sumidouro de carbono eficaz. Conforme ressaltado por SILVA NETO, V. L. et al. (2016, p. 285), "a absorção e armazenamento de carbono pelas raízes é uma função primordial para o equilíbrio climático e conservação da biodiversidade local". Ao estocar quantidades significativas de carbono em suas raízes, as plantas do Cerrado contribuem ativamente para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, atuando como um baluarte contra as mudanças climáticas.

Além disso, as raízes, com suas formas e tamanhos variados, são mais do que simples estruturas de absorção. Elas desempenham um papel crucial na formação e manutenção do solo. Segundo RIBEIRO, S. C. et al. (2017, p. 129), "as interações raiz-solo promovem a formação de agregados do solo, auxiliam na infiltração de água e atuam na ciclagem de nutrientes". Esta interação benéfica cria um ambiente propício para a sobrevivência e prosperidade de outras espécies, tanto flora quanto fauna, que habitam o domínio Cerrado.

A interação das raízes com microrganismos também merece destaque. MORAIS, V. A. et al. (2017, p. 110) elucidam que "as raízes do Cerrado estabelecem relações simbióticas com uma variedade de fungos e bactérias que auxiliam na absorção de nutrientes e água". Estas relações mutualísticas amplificam o potencial das plantas do Cerrado de se adaptar e prosperar em um ambiente com desafios nutricionais significativos.

Em conclusão, é fundamental reconhecer a riqueza e profundidade das interações que ocorrem no subsolo do Cerrado. Como LOPES, R. B.; MIOLA, D. T. B. (2010, p. 99)

sabiamente colocam, "o que vemos na superfície é apenas a ponta do iceberg quando se trata da complexidade e importância das raízes no Cerrado". Assim, enquanto continuamos a desenvolver esforços para conservar e entender melhor este domínio único, é essencial dar ênfase à dimensão subterrânea deste ecossistema, que desempenha um papel tão vital em sua saúde e sustentabilidade.

2.3 Estoque de carbono: relevância e métodos de medição

O entendimento do ciclo do carbono e seu estoque em ecossistemas naturais é fundamental na atual conjuntura ambiental. Neste contexto, ressalta-se a capacidade da natureza em estocar carbono, atuando como um amortecedor essencial contra o rápido aumento das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa. Assim, podemos inferir que, os ecossistemas terrestres, como florestas e savanas, desempenham um papel primordial na regulação da atmosfera terrestre (AZEVEDO, A. D. de et al., 2018, p. 1013).

A absorção e estocagem de carbono ocorrem principalmente por meio do processo de fotossíntese, em que as plantas capturam dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera e o armazenam como carbono orgânico em suas células, tecidos e, mais notavelmente, em suas raízes. A importância desse processo é multifacetada. De acordo com CHAVE et al. (2005, p. 127), "além de ser um reservatório crítico de carbono, esses ecossistemas servem como reguladores climáticos, influenciando os padrões de precipitação e a temperatura ao sequestrar e liberar CO_2 ".

Para compreender efetivamente o papel desses ecossistemas no ciclo global do carbono, é crucial ter métodos precisos de medição. Em muitos estudos, o carbono armazenado acima do solo, principalmente em troncos de árvores, é frequentemente a principal métrica utilizada (TERRA et al., 2021). No entanto, o carbono abaixo da superfície, nas raízes e no solo, também é significativo e, muitas vezes, negligenciado. QURESHI et al. (2012, p. 54) apontam que "o carbono radicular pode constituir uma parcela substancial do carbono total estocado, especialmente em ecossistemas com vegetação adaptada a condições de estresse, como o Cerrado".

Os métodos de medição e monitoramento desse carbono subterrâneo têm evoluído ao longo dos anos, podendo estes ser métodos diretos ou indiretos. RIBEIRO, S. C. et al. (2011, p. 104) elucidam que "as técnicas de amostragem de solo e raiz, juntamente com análises laboratoriais, permitem estimativas mais acuradas do estoque de carbono radicular". Essa forma

de medição dos estoques de carbono, com coletas de campo e determinações laboratoriais, faz parte do que se chama de “métodos diretos” de medição de estoque de carbono.

A obtenção dos estoques de carbono por métodos indiretos tem sido amplamente utilizada por profissionais da área. Esses métodos incluem a quantificação do estoque de carbono por meio de fatores e equações, os quais estão cada vez mais específicos e disponíveis na literatura (CHAVE et al., 2014). Também, a implementação de novas tecnologias, como sensores remotos e modelagem computacional, está ajudando a aprimorar o monitoramento do carbono estocado. ROQUETTE, J. G. (2018, p. 132) destaca que "com o avanço das tecnologias de monitoramento e a integração de diferentes técnicas, a precisão das estimativas do estoque de carbono em ecossistemas naturais tem aumentado consideravelmente".

A relevância do estoque de carbono em ecossistemas naturais transcende sua mera capacidade de absorção. Ademais, a maneira como esses ecossistemas interagem com o carbono tem implicações diretas no equilíbrio climático global. Portanto, ao investir em pesquisa e desenvolvimento de métodos de medição, não só avançamos em nossa compreensão científica, mas também fortalecemos as bases para políticas eficazes de conservação e mitigação das mudanças climáticas. Esta jornada é essencial para garantir um planeta saudável e habitável para as gerações futuras.

A relação entre o equilíbrio climático e o estoque de carbono em ecossistemas terrestres não é apenas uma preocupação teórica, mas também uma questão prática que impacta diretamente a vida na Terra. Segundo ROQUETTE, J. G. (2018, p. 145), "a integridade e resiliência dos ecossistemas são testadas à medida que as mudanças climáticas avançam, e entender a dinâmica do carbono é uma chave para criar estratégias efetivas de adaptação".

No contexto brasileiro, e especificamente em Minas Gerais, a importância do Cerrado na regulação do carbono é magnificada. Em outras palavras, a savana tropical, com sua vegetação diversificada e adaptada, possui uma riqueza subestimada no que tange ao carbono radicular. AZEVEDO, A. D. de et al. (2018, p. 1028) observam que "a heterogeneidade do Cerrado, com suas distintas formações vegetais, oferece uma oportunidade única para investigar variações na capacidade de estocagem de carbono, e entender estas variações é crucial para a gestão e conservação desta importante savana".

De fato, a maneira como abordamos a questão do estoque de carbono em ecossistemas naturais pode influenciar o destino de grandes extensões de terras vulneráveis. CHAVE et al. (2005, p. 137) afirmam: "A degradação de áreas ricas em carbono, como florestas e savanas, não só resulta na liberação direta de CO₂, mas também compromete a capacidade futura desses ecossistemas de funcionar como sumidouros de carbono". Consequentemente, uma questão que

emerge deste cenário é: como os tomadores de decisão, pesquisadores e a sociedade em geral podem colaborar para maximizar o potencial do Cerrado como um sumidouro de carbono? Uma abordagem promissora reside na combinação de práticas tradicionais de manejo com *insights* de pesquisas contemporâneas. RIBEIRO, S. C. et al. (2011, p. 115) argumentam que "além das técnicas modernas de monitoramento, é fundamental valorizar o conhecimento local e as práticas sustentáveis que têm mantido o equilíbrio desses ecossistemas por gerações".

Esta perspectiva holística reconhece a importância de envolver comunidades locais na gestão e conservação do Cerrado. QURESHI, A. et al. (2012, p. 65) ressaltam que "a participação comunitária não apenas melhora a eficácia das intervenções de conservação, mas também garante que os benefícios das ações sejam compartilhados de forma equitativa".

Em conclusão, a dinâmica do estoque de carbono no Cerrado e em outros ecossistemas naturais ainda é negligenciada, pois por muitas vezes a atenção é dada às florestas tropicais úmidas. Atualmente, tanto a sociedade quanto o governo estão preocupados com os problemas decorrentes do desperdício do uso do solo, incluindo a conversão de terras impróprias em agricultura, diminuindo a produção agrícola e colocando em risco a segurança alimentar (HASAN et al., 2020). Enquanto isso, a ciência e a tecnologia proporcionam ferramentas inovadoras para estudar e monitorar esses processos, e é a integração desses avanços com práticas tradicionais e a participação inclusiva das comunidades locais que garantirão um futuro sustentável para o Cerrado e, por extensão, para o planeta. O desafio agora é traduzir esse entendimento em ações concretas, garantindo que os esforços de conservação sejam tão eficazes quanto inclusivos.

2.4 Fragmentação do Cerrado e seus efeitos no estoque de carbono

A crescente conversão do Cerrado em áreas agrícolas e urbanas tem sido uma preocupação constante entre pesquisadores e conservacionistas. Esta transformação, frequentemente, chamada de fragmentação, representa não apenas a perda de biodiversidade, mas também tem implicações diretas na capacidade do domínio em armazenar carbono, uma função ecológica fundamental para o equilíbrio climático global MIZIARA e FERREIRA, (2008b).

Conforme pontuado por CARVALHO, F. M. V; MARCO JÚNIOR, P. DE; FERREIRA, L. G. (2009, p. 112), "a fragmentação do Cerrado altera a estrutura e função do ecossistema, incluindo a capacidade de sequestro e armazenamento de carbono". Esta afirmação é corroborada com diversos estudos, os quais indicam que os fragmentos isolados tendem a

apresentar redução na biomassa vegetal, especialmente nas árvores, resultando em menor capacidade de retenção de carbono (DE PÁDUA ALVARENGA et al., 2006) (DOBROVOLSKI et al. 2011a).

O processo de fragmentação não apenas reduz a cobertura vegetal, mas também perturba a dinâmica do solo. FRANÇOSO, R. D. et al. (2015, p. 143) observaram que "fragmentos menores e mais isolados tendem a ter maior vulnerabilidade à erosão do solo, resultando em perda de matéria orgânica e, conseqüentemente, de carbono estocado". Essa perda direta, somada à menor capacidade de sequestro de carbono pelas plantas, gera um efeito cumulativo que compromete significativamente a capacidade do Cerrado de atuar como sumidouro de carbono.

É crucial mencionar, também, as bordas dos fragmentos, que são particularmente vulneráveis. Segundo FERREIRA, J. et al. (2018, p. 87), "as bordas dos fragmentos do Cerrado experimentam condições microclimáticas alteradas, levando a uma maior mortalidade vegetal e, por consequência, a uma redução na biomassa radicular e no carbono associado". Esta vulnerabilidade das bordas pode resultar em um efeito cascata para o interior desses fragmentos, reduzindo ainda mais sua capacidade de sequestro e armazenamento de carbono.

Além disso, a fragmentação pode afetar os processos ecológicos que são essenciais para o equilíbrio ecológico do domínio. BELLO, C. et al. (2015, p. 215) enfatizam que "a desconexão entre fragmentos pode impedir a dispersão de sementes e a movimentação de animais polinizadores, comprometendo a regeneração natural e, conseqüentemente, a dinâmica do carbono". Sem uma regeneração eficaz, a capacidade do Cerrado de recuperar e manter seus níveis de carbono é seriamente comprometida.

Por fim, é imperativo considerar as implicações de longo prazo da fragmentação no Cerrado. STRASSBURG, B. B. N. et al. (2017, p. 191) advertem que "a continuidade da fragmentação pode levar a pontos de inflexão ecológica, onde o domínio pode não ser mais capaz de sustentar as suas funções ecológicas, incluindo o sequestro de carbono". Portanto, a fragmentação não afeta apenas o presente, mas também molda o futuro do Cerrado e sua capacidade de contribuir para o equilíbrio climático.

Em suma, a fragmentação do Cerrado tem implicações profundas e amplas para o ciclo do carbono. A proteção e restauração deste domínio único não são apenas uma questão de conservação da biodiversidade, mas também de garantir a resiliência climática frente as crescentes ameaças das mudanças climáticas.

Diante dos impactos significativos da fragmentação no Cerrado, emerge uma urgente necessidade de repensar estratégias de conservação e restauração para este domínio. A

relevância do Cerrado vai além de sua biodiversidade única. O domínio desempenha um papel crucial na regulação do ciclo do carbono, e sua degradação poderia acelerar as mudanças climáticas globais.

A restauração dos fragmentos degradados do Cerrado se apresenta como uma solução viável, não só para recuperar a biodiversidade perdida, mas também para restaurar a capacidade do domínio de sequestrar e armazenar carbono. Como afirmou CARVALHO, F. M. V; MARCO JÚNIOR, P. DE; FERREIRA, L. G. (2009, p. 118), "a restauração ecológica, quando realizada com uma abordagem holística, pode reverter os impactos negativos da fragmentação, promovendo a recuperação do carbono estocado no solo e na biomassa vegetal". No entanto, para que essa restauração seja eficaz, é crucial levar em consideração as particularidades do Cerrado e suas espécies nativas.

Outra abordagem estratégica é a criação de corredores ecológicos, que visam conectar fragmentos isolados, permitindo o fluxo de genes e o movimento de espécies. Tais corredores podem atuar como pontes, mitigando os efeitos da fragmentação. FRANÇOSO, R. D. et al. (2015, p. 147) destacam que "os corredores ecológicos podem ser instrumentos valiosos na manutenção da funcionalidade ecológica dos ecossistemas fragmentados, facilitando processos como polinização e dispersão de sementes". Estes, por sua vez, são essenciais para a regeneração natural e a manutenção do ciclo do carbono no domínio.

Concluindo, a fragmentação também tem consequências socioeconômicas, especialmente para as comunidades locais que dependem do Cerrado para sua subsistência. STRASSBURG, B. B. N. et al. (2017, p. 196) ressaltam que "a degradação do Cerrado não é apenas uma crise ecológica, mas também social. A preservação deste domínio é fundamental para garantir a segurança hídrica, alimentar e climática da região". Portanto, as estratégias de conservação e restauração devem também abordar os aspectos humanos, envolvendo as comunidades locais em todos os estágios do processo.

O envolvimento comunitário pode, de fato, ser a chave para a sustentabilidade das iniciativas de conservação. FERREIRA, J. et al. (2018, p. 92) argumentam que "a inclusão das comunidades locais nos esforços de conservação e restauração pode não apenas garantir a sustentabilidade dessas iniciativas a longo prazo, mas também potencializar seus resultados". Ao valorizar e integrar o conhecimento tradicional, é possível desenvolver práticas mais eficazes e contextualizadas para a região do Cerrado.

Concluindo, a fragmentação do Cerrado não é apenas um desafio ecológico, mas também social e econômico. Para enfrentar este desafio de maneira eficaz, é essencial adotar uma abordagem integrada, que considere todos os aspectos do domínio e de suas comunidades.

As soluções existem, mas exigem cooperação, inovação e, acima de tudo, um compromisso renovado com a preservação deste domínio insubstituível.

2.5 Técnicas de medição e modelagem do estoque de carbono no Cerrado

A quantificação precisa do estoque de carbono no Cerrado é fundamental para entender seu papel no ciclo global do carbono e para subsidiar a elaboração de estratégias de conservação. Diversas técnicas, desde as mais tradicionais até as mais inovadoras, têm sido empregadas para medir e modelar o carbono armazenado neste domínio.

Um dos métodos predominantes na quantificação do carbono é a coleta de amostras de solo e de partes vegetais, seguida de análise em laboratório. No entanto, devido à vastidão do Cerrado e à sua heterogeneidade, essa abordagem pode ser demorada e trabalhosa. Como apontado por QURESHI, A. et al. (2012, p. 213), "os métodos diretos de medição do carbono, embora precisos, são muitas vezes inviáveis para grandes áreas devido ao custo e ao tempo envolvido". Portanto, há um crescente interesse em técnicas alternativas que possam complementar ou substituir as medições diretas.

O advento de modelos estatísticos e computacionais ofereceu novas perspectivas para a medição do carbono. O software R, por exemplo, desenvolvido pelo R CORE TEAM (2017), tornou-se uma ferramenta padrão para muitos ecologistas, permitindo uma ampla gama de análises estatísticas e modelagens. Este ambiente de programação fornece pacotes especializados para modelagem de carbono, permitindo aos pesquisadores analisar grandes conjuntos de dados e desenvolver modelos preditivos robustos.

Paralelamente, as técnicas de modelagem de biomassa também têm evoluído. REJEOU-MECHAIN, M. et al. (2018, p. 1507) descrevem um método que "utiliza dados de teledetecção em combinação com parcelas de campo para estimar a biomassa e o carbono aéreo". Esse tipo de abordagem híbrida, que combina observações de campo com imagens de satélite, pode fornecer estimativas mais abrangentes e precisas em escalas maiores.

Outra inovação recente é a aplicação da geoestatística na modelagem do carbono abaixo do solo. No Brasil destaca-se alguns trabalhos pioneiros desenvolvidos pelos pesquisadores Sidney Rosa Vieira, Paulo Libardi e Klaus Reichardt, todos realizados na década de 80 (GUIMARÃES, 2004). No momento atual, a implementação e o uso dessa metodologia de análise de dados estão disseminados em diferentes áreas da ciência, como as ciências sociais, biológicas e exatas. Segundo YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. (2013, p. 68), "a geoestatística permite estimar a variabilidade espacial do carbono no solo, levando em

consideração a correlação espacial entre as amostras". Isso é particularmente útil no Cerrado, onde a heterogeneidade do domínio requer uma análise mais detalhada da variabilidade espacial.

SCOLFORO, H. F. et al. (2016) destacam a importância de técnicas inovadoras, como a tomografia de raios X, na determinação do carbono nas raízes. Estes métodos não destrutivos permitem uma visualização tridimensional das raízes, proporcionando uma estimativa mais precisa do carbono radicular.

A medição e modelagem do estoque de carbono no Cerrado têm se beneficiado de uma combinação de métodos tradicionais e inovadores. A integração de técnicas de campo, modelagem estatística, teledetecção e geoestatística promete uma compreensão mais aprofundada do papel do domínio Cerrado no ciclo global do carbono. Para que esta compreensão se traduza em ações eficazes de conservação, é crucial que os pesquisadores continuem a colaborar, compartilhar conhecimentos e inovar na busca por soluções sustentáveis para este domínio inestimável.

À medida que os avanços nas técnicas de medição e modelagem do carbono no Cerrado continuam a emergir, o compromisso colaborativo entre os pesquisadores torna-se ainda mais vital. Esta interconexão entre campos multidisciplinares, não apenas realça a profundidade e abrangência da pesquisa, mas também conduz a descobertas mais precisas e holísticas sobre o Cerrado e seu papel no ciclo global do carbono.

O aumento do desmatamento e da degradação do domínio reforça a urgência de implementar essas técnicas avançadas em escala ampla. Segundo FRANÇOSO, R. D. et al. (2015, p. 234), "a rápida perda de habitats no Cerrado tem implicações significativas para a biodiversidade e para os serviços ecossistêmicos, incluindo o sequestro de carbono". Portanto, a adoção eficaz desses métodos avançados pode não apenas ajudar a entender melhor o domínio, mas também a informar políticas públicas e práticas de conservação.

Dada a natureza complexa do Cerrado, com sua rica biodiversidade e vasta extensão geográfica, a combinação de técnicas quantitativas e qualitativas torna-se indispensável. Por exemplo, a integração de dados de teledetecção com observações de campo pode revelar nuances sobre as interações entre a flora, a fauna e o carbono estocado. Nesse contexto, STRASSBURG, B. B. N. et al. (2017, p. 102) observam que "a convergência de abordagens metodológicas é crucial para fornecer uma imagem completa do estado atual e das tendências futuras do Cerrado e seu carbono estocado".

Também é importante considerar a dimensão humana ao abordar o estoque de carbono no Cerrado. As comunidades locais, que têm uma relação ancestral com essa terra, acumularam

um vasto conhecimento sobre o domínio. Integrar este conhecimento tradicional com a pesquisa científica moderna pode oferecer *insights* valiosos. Conforme CARVALHO, F. M. V; MARCO JÚNIOR, P. DE; FERREIRA, L. G. (2009, p. 118), "o envolvimento das comunidades locais no processo de monitoramento do carbono pode não apenas enriquecer a pesquisa com perspectivas indígenas, mas também promover a coesão comunitária e a sustentabilidade".

Os desafios associados à quantificação do estoque de carbono no Cerrado são enormes, mas o potencial para descobertas inovadoras é igualmente vasto. À medida que os pesquisadores exploram novas fronteiras metodológicas, também surgem oportunidades para colaborações internacionais. A troca de expertise, dados e recursos pode acelerar o progresso na compreensão e preservação do Cerrado.

Por fim, é imperativo que os resultados destas investigações sejam comunicados de forma efetiva aos tomadores de decisão, ao público em geral e às partes interessadas. A informação, quando apresentada de forma clara e acessível, pode influenciar políticas, promover a conservação e inspirar a próxima geração de cientistas e conservacionistas.

Em resumo, o Cerrado, com sua riqueza única e papel crucial no ciclo do carbono, merece uma abordagem de pesquisa que seja tão dinâmica e diversificada quanto o próprio domínio. A combinação de métodos tradicionais e inovadores, juntamente com a colaboração interdisciplinar e a integração do conhecimento tradicional, garantirá que o Cerrado continue a ser uma fonte de maravilha, aprendizado e inspiração para todos.

2.6 Perspectivas e desafios para conservação do Cerrado e seu carbono

A conservação do Cerrado sempre foi um desafio multifacetado, e as ameaças modernas ao domínio reforçam a necessidade de abordagens inovadoras e colaborativas. O Cerrado é um ecossistema rico e diversificado, mas enfrenta pressões crescentes devido à expansão agrícola, urbanização e mudanças climáticas. A preservação deste domínio não é apenas crucial para a biodiversidade, mas também para a manutenção do equilíbrio global do carbono.

Um dos maiores desafios para a conservação do domínio é a rápida transformação do uso da terra. GARDNER, T. A. et al. (2009, p. 143) destacam que "a conversão de habitats naturais em áreas agrícolas e urbanas está diminuindo a capacidade do Cerrado de sequestrar carbono, ameaçando a biodiversidade e desestabilizando o clima regional e global". Este cenário é preocupante, dada a importância do Cerrado como um sumidouro de carbono e seu papel no regime de chuvas do Brasil.

Sendo assim, a crescente pressão de atividades humanas perturba a dinâmica natural dos ecossistemas. ARNOLD, M. et al. (2011, p. 87) observam que "as atividades de mineração, juntamente com a infraestrutura associada, fragmentam habitats, alteram fluxos de água e introduzem poluentes que podem afetar a capacidade do solo de estocar carbono". A mineração, quando mal gerida, pode levar a uma degradação irrevogável do habitat, exacerbando a perda de biodiversidade e reduzindo o potencial de sequestro de carbono.

A crescente urbanização também apresenta desafios. Conforme destacado por PYLES, M. V. et al. (2018, p. 302), "os centros urbanos em expansão no entorno do Cerrado estão levando a um aumento da poluição do ar e da água, além da fragmentação de habitats, afetando a resiliência e funcionalidade do domínio". Estas perturbações têm ramificações não só para a fauna e flora locais, mas também para comunidades humanas que dependem do Cerrado para sua subsistência.

O Cerrado também é altamente suscetível às mudanças climáticas. TILMAN, D.; ISBELL, F.; COWLES, J. M. (2014, p. 159) argumentam que "as alterações no padrão de chuvas e temperaturas podem deslocar espécies e alterar a composição da comunidade, afetando a capacidade do Cerrado de sequestrar carbono". Esta dinâmica é particularmente preocupante, considerando que o domínio já está sob pressão devido à conversão de terras e outras atividades humanas.

Dada esta miríade de desafios, VANDERWEL, M. C. et al. (2013, p. 175) sugerem que "uma abordagem integrada e colaborativa é necessária para conservar o Cerrado e seu valioso estoque de carbono". Essa abordagem envolve não apenas a pesquisa científica, mas também políticas públicas, envolvimento da comunidade e cooperação internacional.

Segundo o DETER, nos primeiros 4 meses de 2023, o desmatamento afetou cerca de 2.133 km², 17% superior ao mesmo período do ano de 2022 e 48% superior à média histórica. Só em abril, a área do desmatamento aumentou 31% em relação a abril de 2022, passando de 541 km² para 709 km², área quase o dobro do tamanho da Amazônia legal. Além disso, estes valores podem estar subestimados porque a cobertura de nuvens tem sido muito superior à média nos últimos quatro meses. Cerca de 80% do desmatamento ocorre na região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), considerada a principal área de expansão agrícola do Brasil e a maior contribuinte para a destruição de ecossistemas, a qual perdeu neste ano impressionantes 494 mil hectares de área. Tal número equivale a 75% do total de desmatamento no domínio Cerrado em 2023.

Embora seja amplamente reconhecida a importância biológica do Cerrado, este domínio possui a menor proporção de áreas totalmente protegidas dentre todos os *hotspots* no

mundo. Apenas 8,21% do território do Cerrado é legalmente protegido por unidades de conservação, das quais 2,85% são unidades de conservação totalmente preservadas, enquanto 5,36% são unidades de conservação de uso sustentável, incluindo Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) que corresponde a 0,07% desta área protegida.

O Cerrado também protege as nascentes de rios importantes, como Araguaia/Tocantins, Paraguai e São Francisco, atravessando seis das oito principais bacias do país: Amazonas, Araguaia/Tocantins, Atlântico Norte/Nordeste, São Francisco, Atlântico Leste e Paraná/Paraguai. Além disso, três grandes aquíferos brasileiros estão presentes neste ecossistema: Bambuí, Urucuia e Guarani. Dessa forma, o Cerrado desempenha um papel crucial na recarga dos aquíferos e no fluxo de rios importantes no Brasil, como o Paraná, Araguaia/Tocantins e São Francisco, contribuindo com cerca de 50%, 62% e 94% do fluxo desses rios, respectivamente (PENA, Rodolfo F. Alves. 2023).

Em resumo, o Cerrado, como um dos maiores sumidouros de carbono do mundo, enfrenta ameaças significativas que exigem ação urgente. O equilíbrio entre desenvolvimento econômico e conservação é crucial, e a chave para alcançar este equilíbrio é uma abordagem holística que integra ciência, políticas e participação comunitária. Enquanto os desafios são imensos, as oportunidades para conservar e restaurar esse domínio inestimável são igualmente grandes.

A preservação do Cerrado requer um entendimento profundo das interconexões entre ecologia, economia e sociedade. A magnitude das ameaças que o domínio enfrenta sugere que abordagens unidimensionais são insuficientes. Como destacado anteriormente, a chave é uma abordagem holística, envolvendo múltiplas partes interessadas e considerando todas as implicações das ações tomadas.

A participação ativa das comunidades locais no processo de conservação é uma peça fundamental do quebra-cabeça. As comunidades locais, muitas vezes habitantes de longa data do Cerrado, possuem um conhecimento profundo do ecossistema e de suas particularidades. ARNOLD, M. et al. (2011, p. 93) afirmam que "o envolvimento da comunidade não só é vital para a aceitação e eficácia das estratégias de conservação, mas também ajuda a garantir que as práticas adotadas sejam culturalmente sensíveis e ecologicamente sustentáveis".

GARDNER, T. A. et al. (2009, p. 148) ressaltam que "a busca pelo crescimento econômico, frequentemente, colide com os imperativos ecológicos, mas a verdadeira sustentabilidade reside na harmonização de ambos". A expansão da fronteira agrícola, por exemplo, é muitas vezes vista como um motor econômico, mas suas implicações ecológicas são substanciais.

Este ponto nos leva ao dilema das compensações ecológicas. Em muitos casos, os benefícios econômicos imediatos de atividades degradantes para o meio ambiente são claros, enquanto os custos ecológicos são dispersos e emergem ao longo do tempo. TILMAN, D.; ISBELL, F.; COWLES, J. M. (2014, p. 162) observam que "não considerar as compensações a longo prazo é uma falácia que pode resultar em perdas irreversíveis para a biodiversidade e funções do ecossistema".

No entanto, não é apenas o lado ambiental que enfrenta perdas. PYLES, M. V. et al. (2018, p. 307) destacam que "a degradação do Cerrado e a perda de seu estoque de carbono podem ter implicações econômicas, incluindo impactos na agricultura, turismo e qualidade de vida das comunidades locais". Esta perspectiva sugere que, a longo prazo, a degradação do Cerrado pode ser economicamente prejudicial.

Para enfrentar esses desafios complexos, a colaboração em vários níveis é crucial. Isso inclui parcerias entre governos, comunidades locais, ONGs e o setor privado. VANDERWEL, M. C. et al. (2013, p. 178) reforçam a ideia de que "a cooperação é a pedra angular de qualquer estratégia de conservação bem-sucedida, e no contexto do Cerrado, é ainda mais crítico dada a escala e urgência dos desafios".

Em conclusão, a preservação do Cerrado e seu valioso estoque de carbono é uma tarefa árdua que exige ação coordenada e entendimento profundo das implicações de cada decisão. A abordagem deve ser sistêmica, considerando todas as facetas da questão e envolvendo todas as partes interessadas. Apenas por meio dessa abordagem holística podemos garantir o futuro deste domínio vital e sua contribuição para o equilíbrio global do carbono.

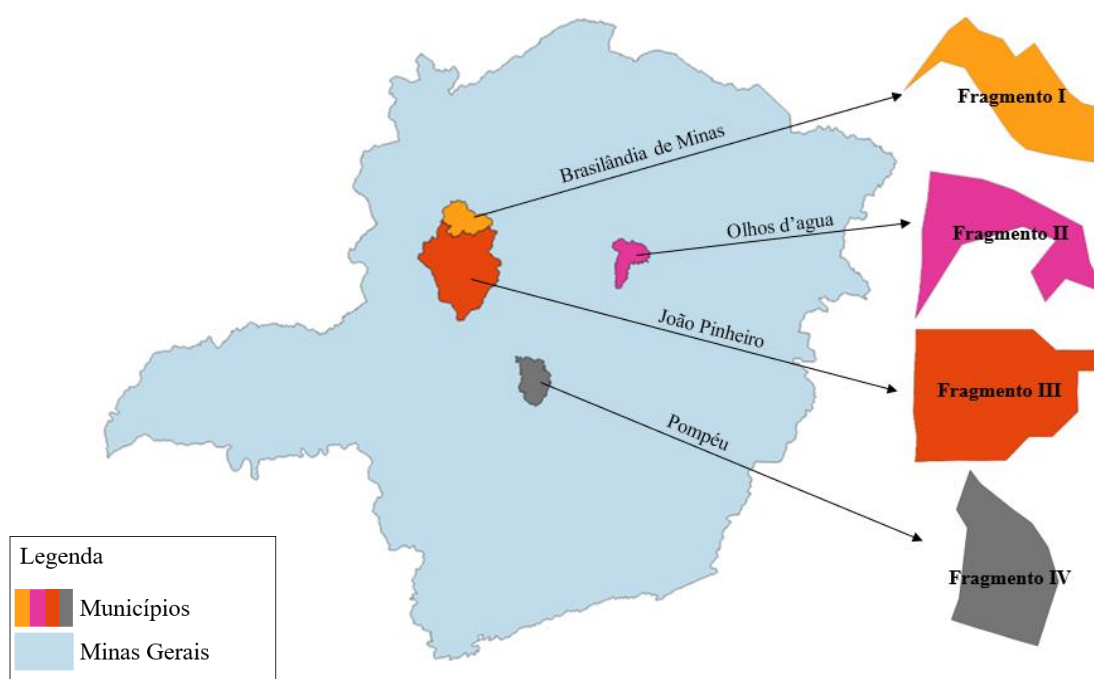
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Os dados deste estudo são provenientes de quatro fragmentos florestais. O Fragmento I, com área de 236,85 hectares e vegetação predominantemente paisagística de Cerrado, está localizado no município de Brasilândia de Minas - MG, sob as coordenadas geográficas 45°51'30,12"W e 16,56'33,84"S. Esta área é caracterizada por uma precipitação anual de 1.285,92 mm, temperatura média de 22,95 °C e altitude de 578 metros acima do nível do mar, sendo o solo classificado como latossolo (SCOLFORO; MELLO; OLIVEIRA, 2008). Na zona de Olhos d'Água, o fragmento II localiza-se nas coordenadas 43°47'55,40"W e 17 ° 20'39,23"S. Em uma área de 111,90 ha, com altitude média de 855 m acima do nível do mar e solo

classificado como latossolo vermelho, dominando a formação cerrado *sensu stricto*, em estágio avançado de regeneração. A temperatura média anual é de 20,91 °C e a precipitação média anual é de 1.187,21 mm (SCOLFORO; MELLO; OLIVEIRA, 2008). O fragmento III está situado em João Pinheiro, sob as coordenadas geográficas 17° 44' 45"S, 46° 10' 44"W e apresenta predominância de relevo suave a suavemente ondulado de calha, solos do tipo latossolo vermelho amarelo, altitude média de 765 m acima do nível do mar. A temperatura média anual é de 23,3 °C e a precipitação média anual é de 1.165 mm. No fragmento IV, em Pompéu, o solo é classificado como latossolo vermelho-amarelo eutrófico (EMBRAPA, 2006). Situado a 720 metros de altitude, com as coordenadas geográficas 19° 12' 25"S, 44° 56' 14"W. A temperatura média anual é de 22,9 °C e a precipitação média anual é 1.326 mm (Figura 2).

Figura 2: Áreas de estudo localizadas em fragmentos do domínio Cerrado no estado de Minas Gerais, Brasil.



3.2. Coleta de dados

Os levantamentos florestais foram realizados por meio de amostragem sistemática considerando dois intervalos de tempo diferentes para os fragmentos I e III e três intervalos de tempo diferentes para os fragmentos II e IV. Para o fragmento I foram delineadas 40 unidades amostrais de 10 x 100 m (1000 m²), totalizando 4 hectares amostrados. A primeira medição foi realizada em 2003 e todas as parcelas foram mensuradas novamente em 2010.

No Fragmento II, foram inicialmente amostradas 11 parcelas de 10 x 100 m (1000 m²) em 2003. Na medição subsequente, no ano de 2005, foram incluídas mais 13 unidades amostrais do mesmo tamanho, totalizando 2,4 hectares amostrados. Assim, em 2005, foram quantificadas 24 parcelas, 11 parcelas foram mensuradas novamente e 13 parcelas foram medidas pela primeira vez. Em 2010, todas as unidades amostrais foram medidas.

No Fragmento III foram amostradas 31 parcelas de 10 x 100 m (1000 m²) em 2007 e em 2012 todas as unidades amostrais foram remedidas, totalizando 3,1 hectares.

Quanto ao Fragmento IV, foram alocadas 11 parcelas com dimensões 10 x 100 m (1000 m²) em 2003. Em 2005, foram lançadas mais 23 unidades amostrais. Portanto, foram medidas 11 parcelas no primeiro ano, e um total de 34 unidades amostrais foram inventariadas em 2005 e 2012. A área amostrada no primeiro inventário (2003) foi de 1,1 hectares e para os anos posteriores, 3,4 hectares.

Para fins de inventário florestal, foi considerado o mesmo método de inclusão para as quatro áreas, ou seja, medições de todos os indivíduos arbóreos vivos com diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) ≥ 5 cm. Ao mesmo tempo, a altura total de todos os indivíduos avaliados foi medida e realizada a identificação botânica.

Em todos os fragmentos e anos de medição, os indivíduos que atenderam aos critérios de inclusão foram marcados com placas de alumínio contendo informações sobre a planta e número da parcela. Além disso, todas as unidades amostrais foram georreferenciadas. Esta informação permite, portanto, medir novamente as mesmas árvores em levantamento de campo subsequentes.

Tabela 1: Datas (mês/ano) das medições dos fragmentos de Cerrado situados em Minas Gerais, Brasil.

Área de estudo	Primeira medição	Segunda medição	Terceira medição
Brasilândia de Minas	03/2003	08/2010	
Olhos D'Água	03/2003	05/2005	03/2010
João Pinheiro	04/2007	04/2012	
Pompéu	05/2003	08/2005	01/2012

3.3 Cálculo do estoque de carbono radicular e processamento do inventário

As árvores que apresentaram múltiplos fustes tiveram seu DAP equivalente calculado a partir da raiz da soma dos quadrados dos DAPs de cada um de seus fustes. Para o cálculo do estoque de carbono radicular das árvores, em cada medição de cada área de estudo, foi utilizada a equação para estimativa de carbono radicular proposta por Scolforo et al. (2008):

$$\text{Craiz} = e^{(-10,8222929789 + 2,1089211397 * \text{LN}(\text{DAP}) + 0,7794162678 * \text{LN}(\text{HT}))}$$

em que:

Craiz = estoque de carbono radicular da árvore (t.ha⁻¹)

DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m do solo) equivalente da árvore (cm)

HT = altura total da árvore (m)

3.4 Cálculo das taxas de dinâmica do estoque de carbono radicular

A partir dos estoques de carbono radicular por árvore, foram então calculadas as diferenças entre os estoques de carbono entre as medições. A partir dessas diferenças, calculadas para cada par de medições em cada área de estudo, as árvores foram classificadas (“*status*”) como mortas (Mor), recrutadas (Rec), as que apresentam decremento (Dec) e as que apresentam incremento (Inc). Então, por meio de uma planilha dinâmica, para cada par de medição, para cada área de estudo, foram agrupados os estoques de carbono por *status* por parcela. De posse do estoque de carbono radicular total das parcelas (e médio da área) no tempo 1, do estoque de carbono radicular total das parcelas (e médio da área) no tempo 2, e dos estoques relativos a Dec, Inc, Mor e Rec por parcela e médios da área, foram calculadas as seguintes taxas de dinâmica do estoque de carbono radicular:

$$\text{Perda: } P = \{1 - [(\text{Craiz}_0 - \text{Craiz}_m + \text{Craiz}_d) / \text{Craiz}_0] 1/t\} \times 100$$

$$\text{Ganho: } G = \{1 - [1 - (\text{Craiz}_r + \text{Craiz}_g) / \text{Craiz}_t] 1/t\} \times 100$$

$$\text{Rotatividade: } \text{TCraiz} = ((P + G) / 2)$$

$$\text{Mudança Líquida: } \text{ChCraiz} = [(\text{Craiz}_t / \text{Craiz}_0) 1/t - 1] \times 100$$

Em que:

Craiz₀: Estoque de carbono inicial das árvores (m².ha⁻¹)

Craiz_d: Decremento em estoque de carbono das árvores mortas (m².ha⁻¹)

Craiz_g: Incremento em estoque de carbono das árvores sobreviventes ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)

Craiz_m: Estoque de carbono das árvores mortas ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)

Craiz_r: Estoque de carbono inicial das árvores recrutadas ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)

Craiz_t: Estoque de carbono final das árvores ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)

ChCraiz: Mudança líquida em estoque de carbono (%)

G: Ganho de estoque de carbono (%)

P: Perda de estoque de carbono (%)

t: Tempo decorrido entre os inventários (anos)

TCraiz: Rotatividade em estoque de carbono (*turnover*) ($\%.\text{ano}^{-1}$)

4. RESULTADOS

De acordo com os dados apresentados nas tabelas 2, 3, 4 e 5, podemos perceber que o coeficiente de variação do estoque de carbono radicular é menor no fragmento IV, sendo esse, portanto, mais homogêneo, apresentando dados com menor dispersão em torno da média. Tais observações estão possivelmente associadas ao maior número de parcelas (34) e pelo menor intervalo de medição (3 anos). O oposto foi observado no fragmento I, em Brasilândia de Minas, o qual possui maior coeficiente de variação, com uma maior dispersão dos dados em relação à média, provavelmente em decorrência de um intervalo maior (7 anos) entre os inventários. Já nos fragmentos II e III, os parâmetros do inventário tiveram uma semelhança nos dados referentes ao estoque de carbono radicular, mesmo no fragmento 3 tenha uma medição a menos que os demais. No fragmento II, temos mensuração de 24 parcelas em 3 anos e no fragmento III temos mensuração de 32 parcelas em 2 anos diferentes, assim fazendo com que o número de parcelas e os anos de medição diferentes compensasse o intervalo e obtivesse semelhança em seus parâmetros.

A partir das análises constatamos que o fragmento III foi aquele que evidenciou menor variabilidade no estoque de carbono radicular ao longo dos anos, com variação de 22,43% a 27,48%. Já o fragmento I, inicialmente, apresentou um CV de 84,49% no primeiro ano de mensuração, que diminuiu para 72,43% no último ano. Por fim, os fragmentos II e IV exibiram um intervalo variando entre 19,53% e 38,70%. Ademais, é importante destacar que, todas as áreas analisadas demonstraram uma redução na variabilidade entre os anos de mensuração.

TABELA 2: Estatística descritiva do estoque de carbono das raízes do fragmento de Cerrado localizado em Brasilândia de Minas nos anos de medição 2003 e 2010.

Fragmento I		
	Craizes 2003	Craizes 2010
Média	0,4792 t.ha ⁻¹	0,6027 t.ha ⁻¹
Desvio	0,4049	0,4366
Erro do inventário %	27,0220 %	23,1654 %
CV%	84,4925 %	72,4335 %

CV%: Coeficiente de variação.

TABELA 3: Estatística descritiva do estoque de carbono das raízes do fragmento localizado em Olhos d'Água nos anos de medição 2003, 2005 e 2010.

Fragmento II			
	Craizes 2003	Craizes 2005	Craizes 2010
Média	1,1756 t.ha ⁻¹	1,3479 t.ha ⁻¹	1,5840 t.ha ⁻¹
Desvio	0,4549	0,4210	0,4881
Erro do inventário %	25,9973 %	13,1890 %	13,0111 %
CV%	38,6974 %	31,2341 %	30,8129 %

CV%: Coeficiente de variação.

TABELA 4: Estatística descritiva do estoque de carbono das raízes do fragmento localizado em João Pinheiro nos anos de medição 2007 e 2012.

Fragmento III		
	Craizes 2007	Craizes 2012
Média	2,4410 t.ha ⁻¹	3,8491 t.ha ⁻¹
Desvio	0,6707	0,8634
Erro do inventário %	10,0787 %	8,2280 %
CV%	27,4771 %	22,4316 %

CV%: Coeficiente de variação.

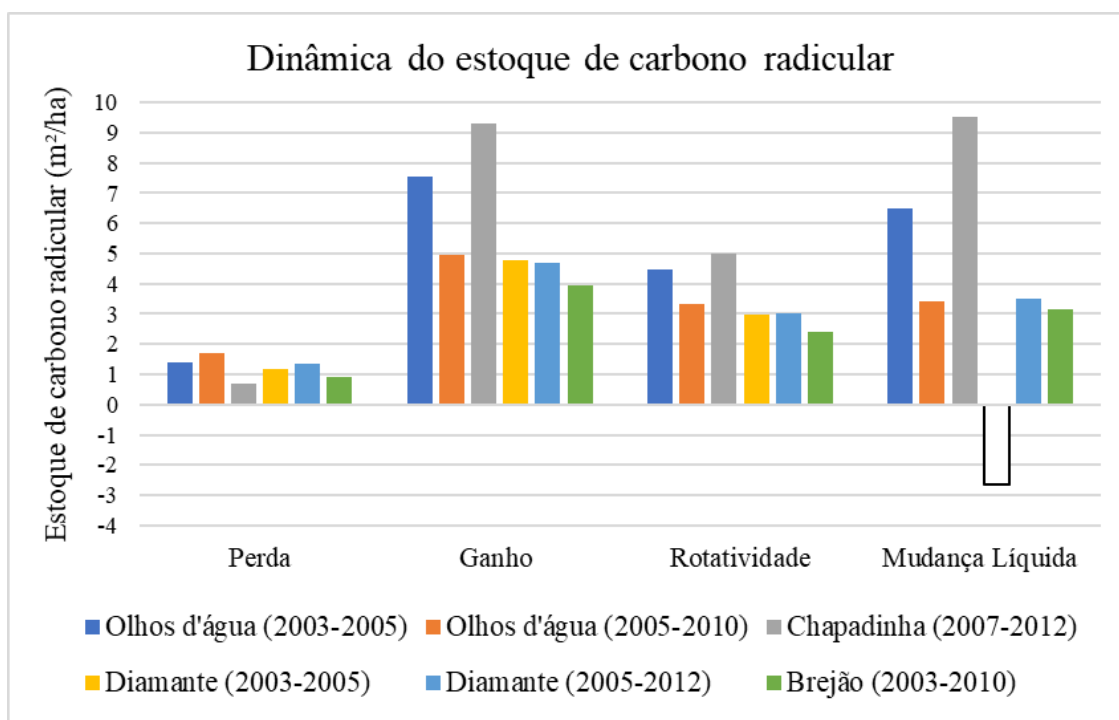
TABELA 5: Estatística descritiva do estoque de carbono das raízes do fragmento localizado em Pompéu nos anos de medição 2003, 2005 e 2012.

Fragmento IV			
	Craizes 2003	Craizes 2005	Craizes 2012
Média	1,8778 t.ha ⁻¹	1,7672 t.ha ⁻¹	2,20537 t.ha ⁻¹
Desvio	0,3667	0,5419	0,64885
Erro do inventário %	13,1192 %	10,6986 %	10,26559 %
CV%	19,5282 %	30,6623 %	29,42135 %

CV%: Coeficiente de variação.

Os fragmentos I, II e III tiveram variação percentual na taxa de mudança líquida positiva devido ao maior recrutamento em relação à mortalidade, o que não ocorreu no fragmento IV no intervalo de 2003-2005, onde a taxa de mudança líquida foi negativa (Gráfico 1).

GRÁFICO 1: Distribuição das taxas da dinâmica de estoque de carbono radicular para os fragmentos de Cerrado estudados em Minas Gerais.



A variação do estoque de carbono entre os anos de medição está atrelada ao crescimento da vegetação, em que no primeiro ano havia uma maior quantidade de indivíduos com menores diâmetros, resultando em menor estoque de carbono (LOPES; MIOLA, 2010).

Em todos os anos e fragmentos onde a mudança líquida foi positiva, houve um acúmulo de estoque de carbono radicular. Analisando a dinâmica da comunidade arbórea nas áreas de campo cerrado e cerrado *sensu stricto*, durante os períodos avaliados, os resultados fornecem subsídios para inferir sobre o nível de proteção daqueles fragmentos onde a vegetação resistiu a possíveis efeitos antrópicos durante os períodos estimados. Nota-se que, a variação líquida no carbono das raízes foi positiva, confirmando a importância do desenvolvimento e crescimento das plantas. Por esse motivo, vale ressaltar que em decorrência do aumento do DAP, o estoque de carbono das raízes aumentou, como mostra as 6, 7, 8 e 9.

Os fragmentos II e III apresentam um intervalo de 5 anos entre as medições. Podemos observar que, o fragmento III apresentou a menor taxa de perda e a maior taxa de ganho de

carbono nas raízes. Por outro lado, no fragmento II (no intervalo de 2003-2005) houve uma maior taxa de perda. Já em relação ao fragmento I, que possui intervalo de 7 anos entre as mensurações, este apresentou o menor ganho.

TABELA 6: Taxas de dinâmica do estoque de carbono radicular, do fragmento de Cerrado localizado em Brasilândia de Minas, com comparação entre os intervalos de medição de 2003 a 2010 e evidenciando os parâmetros de mínimo, máximo, média, desvio padrão e CV% (coeficiente de variação).

Fragmento I						
2003 - 2010						
	Craiz	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	CV%
Perda (% ano ⁻¹)	0,9199 t.ha ⁻¹	0,0766	3,8918	0,8742	0,8030	91,8638
Ganho (% ano ⁻¹)	3,9242 t.ha ⁻¹	1,4483	7,2914	4,5075	1,3061	28,9751
Rotatividade (% ano ⁻¹)	2,4220 t.ha ⁻¹	1,1171	4,8978	2,6908	0,8302	30,8522
Mudança Líquida (% ano ⁻¹)	3,1385 t.ha ⁻¹	0,4603	6,8214	3,8216	1,5045	39,3683

TABELA 7: Taxas de dinâmica do estoque de carbono radicular, do fragmento localizado em Olhos d'Água, com comparação entre os intervalos de medição de 2003 a 2005 e 2005 a 2010 e evidenciando os parâmetros de mínimo, máximo, média, desvio padrão e CV% (coeficiente de variação).

Fragmento II						
2003 - 2005						
	Craiz	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	CV%
Perda (% ano ⁻¹)	1,4167 t.ha ⁻¹	0,2926	3,5611	1,2265	0,9626	78,4837
Ganho (% ano ⁻¹)	7,5345 t.ha ⁻¹	5,1178	11,5846	7,8613	1,9451	24,7432
Rotatividade (% ano ⁻¹)	4,4756 t.ha ⁻¹	3,2494	6,0500	4,5439	0,9354	20,5859
Mudança Líquida (% ano ⁻¹)	6,5079 t.ha ⁻¹	3,7215	12,5197	7,2513	2,8178	38,8591
2005 - 2010						
	Craiz	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	CV%
Perda (% ano ⁻¹)	1,7033 t.ha ⁻¹	0,4203	6,3744	1,7544	1,4953	85,2347
Ganho (% ano ⁻¹)	4,9327 t.ha ⁻¹	2,8042	7,1321	5,0398	1,0253	20,3445
Rotatividade (% ano ⁻¹)	3,3180 t.ha ⁻¹	2,2837	6,0655	3,3971	0,9352	27,5309
Mudança Líquida (% ano ⁻¹)	3,3969 t.ha ⁻¹	-0,6556	7,1215	3,4702	1,8748	54,0244

TABELA 8: Taxas de dinâmica do estoque de carbono radicular, do fragmento localizado em João Pinheiro, com comparação entre os intervalos de medição de 2007 a 2012 e evidenciando os parâmetros de mínimo, máximo, média, desvio padrão e CV% (coeficiente de variação).

Fragmento III						
2007 - 2012						
	Craiz	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	CV%
Perda (% ano ⁻¹)	0,6811 t.ha ⁻¹	0,0193	3,1718	0,6243	0,7247	116,0715
Ganho (% ano ⁻¹)	9,3171 t.ha ⁻¹	6,6498	13,2677	9,4840	1,3540	14,2772
Rotatividade (% ano ⁻¹)	4,9991 t.ha ⁻¹	3,5191	7,3212	5,0541	0,7729	15,2931
Mudança Líquida (% ano ⁻¹)	9,5367 t.ha ⁻¹	6,4878	15,1161	9,8117	1,8314	18,6654

TABELA 9: Taxas de dinâmica do estoque de carbono radicular, do fragmento localizado em Pompéu, com comparação entre os intervalos de medição de 2003 a 2005 e 2005 a 2012 e evidenciando os parâmetros de mínimo, máximo, média, desvio padrão e CV% (coeficiente de variação).

Fragmento VI						
2003 - 2005						
	Craiz	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	CV%
Perda (% ano ⁻¹)	1,1581 t.ha ⁻¹	0,3052	2,5536	1,2034	0,6707	55,7317
Ganho (% ano ⁻¹)	4,7775 t.ha ⁻¹	-1,6627	6,8846	4,0129	2,2748	56,6861
Rotatividade (% ano ⁻¹)	2,9678 t.ha ⁻¹	0,4454	4,1304	2,6081	1,0611	40,6839
Mudança Líquida (% ano ⁻¹)	-2,6618 t.ha ⁻¹	-4,1474	5,9158	2,9800	2,6713	89,6394
2005 - 2012						
	Craiz	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	CV%
Perda (% ano ⁻¹)	1,346 t.ha ⁻¹	0,259	2,827	1,355	0,574	42,369
Ganho (% ano ⁻¹)	4,692 t.ha ⁻¹	2,814	7,091	4,740	1,047	22,087
Rotatividade (% ano ⁻¹)	3,019 t.ha ⁻¹	1,950	4,410	3,047	0,665	21,812
Mudança Líquida (% ano ⁻¹)	3,511 t.ha ⁻¹	0,696	6,727	3,563	1,131	31,752

5. DISCUSSÃO

A interpretação dos resultados é uma etapa crucial em qualquer estudo científico, pois é o momento em que os dados coletados são sintetizados e compreendidos dentro do contexto mais amplo da pesquisa. No estudo atual, que se concentrou na dinâmica do estoque de carbono

radicular em áreas de Cerrado em Minas Gerais, os resultados coletados ao longo do intervalo de tempo estabelecido oferecem *insights* valiosos, que não apenas atendem aos objetivos do estudo, mas também contribuem para o entendimento científico do domínio Cerrado.

5.1 Estoques de carbono radicular

O Cerrado, reconhecido por sua rica biodiversidade e complexa interação entre fauna e flora, é um dos domínios mais ameaçados do Brasil. Os resultados deste estudo, que examina a dinâmica do estoque de carbono radicular, lançam luz sobre aspectos cruciais do ecossistema e têm implicações profundas para a conservação e o entendimento dos processos ecológicos que moldam este domínio único.

Primeiramente, as descobertas relacionadas à abundância de indivíduos, mortalidade, recrutamento oferecem uma visão clara da saúde e da dinâmica das populações vegetais do Cerrado. Estudos sobre a dinâmica da vegetação da savana brasileira mostraram que a taxa de recrutamento é maior que a taxa de mortalidade em áreas livres de perturbações (Gomes et al., 2016, Henriques e Hay, 2002, Mews et al., 2011). No entanto, a maioria dos estudos da dinâmica das savanas brasileiras foi conduzida em escala local (Cordeiro et al., 2020, Durigan e Ratter, 2006, Mews et al., 2011, Pinheiro e Durigan, 2009), com menos em escalas regionais (Ferreira e Huete, 2004, Ledru et al., 1998). Portanto, o conhecimento sobre os impulsionadores das flutuações comunitárias em número de indivíduos e área basal, composição de espécies e diversidade em escala regional ainda é escasso para o Cerrado. Uma taxa de recrutamento robusta, por exemplo, sugere que o Cerrado, apesar das ameaças, possui uma capacidade inerente de regeneração. No entanto, altas taxas de mortalidade podem indicar estresses ecológicos, sejam eles de origem natural, como secas ou incêndios, ou antropogênicos, como a conversão de terras e o desmatamento.

As implicações dessas descobertas vão além da simples contagem de árvores. O Cerrado desempenha um papel vital no sequestro de carbono, e a dinâmica da população vegetal tem um impacto direto na capacidade do domínio de armazenar carbono no solo e na biomassa. O crescimento saudável da vegetação e a renovação constante por meio do recrutamento aumentam a capacidade do Cerrado de atuar como um sumidouro de carbono, o que é essencial para a mitigação das mudanças climáticas.

Em comparação com o trabalho realizado por TEODORO D. A. A (2014), que em uma área de Cerrado protegido em comparação com o cerradão (não protegido) o estoque de carbono radicular foi de 7,42 t.ha⁻¹ e 8,69 t.ha⁻¹, respectivamente. Assim, observa-se que o

cerradão obteve maior estoque de carbono radicular e isso se deve a ocorrências de fogo, baixa disponibilidade de nutrientes e estresse sazonal. De forma geral, induzem maior alocação em biomassa radicular na área não protegida e representam grande parte do estoque total do Cerrado (Abdala et al. 1998).

Os dados obtidos nesse trabalho, para os fragmentos II e III, são os que mais se aproximam dos dados de Teodoro D. A. A (2014), sendo o ganho no estoque de carbono radicular médio de $7,8613 \text{ t.ha}^{-1}$ e $9,4840 \text{ t.ha}^{-1}$, respectivamente. No entanto, os fragmentos I e IV obtiveram uma menor estoque de carbono radicular sendo $4,5075 \text{ t.ha}^{-1}$ e $4,0129 \text{ t.ha}^{-1}$. Assim podemos fazer uma analogia entre os dois trabalhos, onde as áreas que tiveram uma menor taxa de carbono radicular foram aquelas em que houve menor incidência de agentes externos, obtendo uma taxa maior de biomassa aérea. Por outro lado, maiores taxas de carbono radicular estão associadas a áreas que sofrem maior incidência de agentes externos ou menor número de indivíduos por parcela, o que provoca maior taxa de reserva nas raízes.

A falta de estudos sobre o tema, em decorrência principalmente da dificuldade na coleta dos dados, restringe as possibilidades de comparação dos resultados obtidos. No entanto, a demanda por soluções para a crise climática vem aumentando o interesse em fazer mais estudos. Por fim, ao comparar as descobertas deste estudo com o que é conhecido sobre outros domínios similares, podemos começar a identificar padrões e tendências em escala global. Isso pode informar estratégias de conservação e manejo em outros lugares, aproveitando as lições aprendidas no Cerrado.

Em conclusão, as implicações ecológicas das descobertas deste estudo são vastas e multifacetadas. Elas reforçam a importância do Cerrado não apenas como um reservatório de biodiversidade, mas também como um componente crucial no sistema climático global. A conservação e o manejo informado deste domínio são imperativos, não apenas para o Brasil, mas para o mundo.

5.2 Mortalidade e Recrutamento

Os resultados indicaram mudanças significativas na mortalidade e recrutamento, perda e estoque de carbono radicular. Essas mudanças estão intrinsecamente ligadas aos objetivos do estudo, que visavam entender como esses fatores interagem e influenciam a capacidade do Cerrado de sequestrar carbono. Os dados sugerem que o Cerrado, apesar de sua resiliência, enfrenta desafios que podem afetar sua capacidade de funcionar como um sumidouro de carbono.

Em ecossistemas complexos como o Cerrado, o equilíbrio entre a mortalidade e o recrutamento de indivíduos é um indicador poderoso da dinâmica populacional e da saúde do ecossistema. Durante o período de estudo, foram meticulosamente registradas as abundâncias de indivíduos mortos ((N_m)) e recrutados ((N_r)), oferecendo uma janela para os processos ecológicos e as interações bióticas e abióticas que moldam a comunidade vegetal do Cerrado.

O registro da mortalidade ((N_m)) reflete as perdas na população, proporcionando *insights* sobre as adversidades que as plantas podem enfrentar no Cerrado. A taxa de mortalidade pode ser influenciada por uma série de fatores, incluindo condições ambientais extremas, como secas prolongadas ou incêndios, que são eventos relativamente comuns neste domínio. Tais eventos podem ter efeitos diretos, como a queima ou desidratação das plantas, ou efeitos indiretos, como a alteração da composição do solo ou da disponibilidade de recursos, afetando assim a viabilidade das plantas.

Além disso, pressões bióticas, como a predação por herbívoros ou a competição intraespecífica por recursos limitados, podem contribuir para as taxas de mortalidade observadas. No entanto, é importante notar que a mortalidade é um componente natural dos ecossistemas, permitindo a renovação e a resiliência das populações ao longo do tempo.

Dentre as etapas que determinam a dinâmica, a mortalidade leva em consideração o número de árvores mensuradas durante um período e que morreram em decorrência à competição, pragas, doenças, idade, anelamento ou supressão (SANQUETTA; CÔRTE; EISFELD, 2003). Por outro lado, o recrutamento ((N_r)) representa a adição de novos indivíduos à população, um sinal de renovação e crescimento.

No Cerrado, o recrutamento pode ser impulsionado por uma variedade de fatores, incluindo a disponibilidade de nichos ecológicos vazios deixados por indivíduos mortos, condições ambientais favoráveis que promovem a germinação de sementes e o estabelecimento de mudas, e a resiliência das espécies locais a perturbações.

O balanço entre a mortalidade e o recrutamento oferece uma compreensão profunda da dinâmica populacional no Cerrado. Uma taxa de recrutamento que excede a mortalidade pode indicar um ecossistema em expansão, possivelmente devido a condições ambientais favoráveis ou a uma diminuição da ação predatória. Em contraste, uma taxa de recrutamento menor que a mortalidade pode sinalizar um declínio na população, possivelmente devido a condições adversas ou a um aumento na competição.

Além de sua importância na dinâmica populacional, a mortalidade e o recrutamento também têm implicações significativas para a dinâmica do carbono radicular. A morte de plantas mais velhas e a decomposição de suas raízes podem liberar carbono armazenado no

solo, enquanto o recrutamento de novos indivíduos e o crescimento de suas raízes podem aumentar o sequestro de carbono (CARVALHO, N. B., 2020). Portanto, a relação entre mortalidade, recrutamento e dinâmica do carbono radicular é complexa e multifacetada, refletindo a interação entre processos biológicos e ciclos biogeoquímicos.

Neste estudo, foi observada uma relação entre a mortalidade, o recrutamento e a dinâmica do carbono radicular no Cerrado. As taxas de mortalidade e recrutamento, juntamente com as medições de carbono nas raízes, fornecem uma visão abrangente da dinâmica do ecossistema e de seu potencial como sumidouro de carbono. Entender essas dinâmicas é crucial para informar estratégias de manejo e conservação que visam não apenas preservar a biodiversidade única do Cerrado, mas também otimizar seu papel no sequestro de carbono e na mitigação das mudanças climáticas.

Ao comparar esses resultados com estudos anteriores, é possível perceber padrões e tendências consistentes, bem como discrepâncias que podem ser atribuídas a variações regionais, métodos de estudo ou condições climáticas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da dinâmica do estoque de carbono radicular em áreas de Cerrado em Minas Gerais revelou *insights* valiosos sobre a dinâmica, resiliência e dinâmica desse domínio único. Os resultados indicam que o acúmulo de carbono apresentou um crescimento contínuo em todos os fragmentos e períodos analisados, com valores de estoque de carbono radicular médio variando entre 0,48 t.ha⁻¹ no fragmento I no ano de 2003 e 3,85 t.ha⁻¹ no fragmento III no ano de 2012, confirmando, assim, a habilidade da formação em atuar como um sumidouro de carbono.

A análise da abundância de indivíduos, mortalidade e recrutamento forneceu uma compreensão clara das forças ecológicas e ambientais que moldam a comunidade vegetal do Cerrado. Essas descobertas têm implicações profundas para a conservação e manejo sustentável do Cerrado, enfatizando a necessidade de abordagens informadas que levem em consideração tanto a biodiversidade quanto o papel do domínio no ciclo global de carbono. Em geral, as taxas obtiveram um balanço positivo entre recrutamento e mortalidade e incremento e decremento.

O impacto deste estudo vai além da mera contagem de árvores ou medição da área basal. Ele contribui para o conhecimento sobre o Cerrado, fornecendo dados e análises que podem auxiliar a elaboração de políticas de conservação, estratégias de manejo e iniciativas de restauração. Além disso, ao destacar a importância do Cerrado no sequestro de carbono, este

estudo reforça a necessidade de considerar os ecossistemas naturais como aliados cruciais na luta contra as mudanças climáticas.

Olhando para o futuro, este trabalho serve como uma base sólida para pesquisas subsequentes. A dinâmica do carbono radicular, em particular, é uma área que requer investigação adicional, dada sua relevância para o equilíbrio climático. Espera-se que as descobertas e metodologias apresentadas aqui inspirem e orientem futuros pesquisadores na exploração contínua e na compreensão profunda do Cerrado e de domínios similares ao redor do mundo.

Em suma, este estudo reitera a importância e a maravilha do Cerrado, um domínio que, apesar de suas adversidades, continua a prosperar e a desempenhar um papel vital no equilíbrio ecológico e climático do nosso planeta. O mesmo tem um papel fundamental na manutenção do equilíbrio hidrológico no país. Apesar de possuir um clima semiárido e enfrentar períodos de escassez de água, as chuvas conseguem infiltrar no solo e abastecer os aquíferos e nascentes. A saber, o subsolo dessa região é abundante em água, sendo comparado por alguns como um "reservatório" para todo o continente.

7. REFERÊNCIAS

ABDALA, G. C.; CALDAS, L. S.; HARIDASAN, M.; EITEN, G. Above and belowground organic matter and root: shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology*, [S.l.], 1998. v. 2, n. 1, p. 11–23.

AZEVEDO, A. D. de et al. Estimativas de domíniossa e estoque de carbono em fragmento de mata atlântica. *Floresta e Ambiente*, v. 25, n. 2, p. e20160269, 2018.

ARNOLD, M. et al. Ecosystem services and opportunity costs shift spatial priorities for conserving forest biodiversity. *PloS one*, v. 6, n. 11, e27907, 2011.

BELLO, C. et al. Land-use strategies can offset impacts of climate change on biodiversity. *Landscape Ecology*, v. 30, n. 6, p. 1081-1093, 2015.

Domínio Cerrado teve 494 mil hectares desmatados em 2023. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/meio-ambiente/audio/2023-09/dominio-cerrado-teve-494-mil-hectares-desmatados-em-2023#:~:text=Repetindo%20o%20padr%C3%A3o%20dos%20%C3%BAltimos>>. Acesso em: 10 nov. 2023.

CARVALHO, F. M. V.; MARCO JÚNIOR, P. DE; FERREIRA, L. G. Cerrado conservation is essential to protect the Amazon rainforest. *Ambio*, v. 38, n. 8, p. 437-441, 2009.

CARVALHO, Natália Barbosa. Ecosistemas de carbono azul e as sinergias entre medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas e eventos extremos: o caso dos manguezais da baía de Sepetiba - RJ./ Natália Barbosa de Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2020. XVIII, 265 p.: il.; 29,7 cm

CGTI, A. Cerrado. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/domínios/cerrado.html>>.

CHAVE, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, v. 145, n. 1, p. 87-99, 2005.

CHAVE, J. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, v. 20, n. 10, p. 3177–3190, 21 jun. 2014.

CORDEIRO, N. G. et al. The role of environmental filters in Brazilian savanna vegetation dynamics. *Forest Ecology and Management*, v. 500, p. 119645, 15 nov. 2021.

DE PÁDUA ALVARENGA, Antônio; ARCÂNGELA FERREIRA DE SANTANA DO CARMO, Ciriaca. Sequestro de Carbono: Quantificação em Seringais de Cultivo e na Vegetação Natural. [S. l.]: Viçosa, MG, 2006. 352 p.

Dobrovolski, R., J. A. Felizola Diniz-Filho, R. D. Loyola, and P. Marco Junior. 2011a. Agricultural expansion and the fate of global conservation priorities. *Biodiversity and Conservation*, 20:2445-2459.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília:Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FERREIRA, J. et al. Carbon-focused conservation may fail to protect the most biodiverse tropical forests. *Nature Climate Change*, v. 8, n. 8, p. 744-749, 2018.

FERREIRA, R. Q. S. et al. Biodiversity conservation in the Brazilian Cerrado: implications and perspectives. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 39, p. 64-77, 2016.

FRANÇOSO, R. D. et al. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. *Natureza & Conservação*, v. 13, n. 1, p. 35-40, 2015.

GARDNER, T. A. et al. Prospects for tropical forest biodiversity in a human-modified world. *Ecology Letters*, v. 12, n. 6, p. 561-582, 2009.

GUIMARÃES, E. C. Geoestatística básica e aplicada. UFU-FAMAT Núcleo de Estudos Estatísticos e Biométricos, p. 77, 2004. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/61263725/Geoestatistica-Basica-e-Aplicada>>.

HASAN, S. S.; ZHEN, L.; MIAH, M. G.; AHAMED, T.; SAMIE, A. Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environmental Development*, [s. l.], v. 34, p. 100527, 2020.

LOPES, R. B.; MIOLA, D. T. B. Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do Cerrado. *SynThesis Revista Digital FAPAM*, v. 2, n. 2, p. 127–143, 2010.

LOPES, R. B.; MIOLA, D. T. B. Distribuição de raízes de cerrado stricto sensu sob diferentes níveis de umidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 1, p. 51-60, 2010.

MIRANDA, C. de et al. Relações entre atributos de solos e raízes de espécies de Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 3, p. 763-772, 2014.

Miziara, F. and N. C. Ferreira. 2008. Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no Estado de Goiás: subsídios à política ambiental. Pages 107-125 in L. G. Ferreira, ed. *A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado*. UFG.

MORAIS, V. A. et al. Influência do fogo na densidade e domínios do sistema radicular do cerrado sensu stricto. *Revista Árvore*, v. 41, n. 3, 2017.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853-858, 2000.

OLIVEIRA, A. P. de; FELFILI, J. M. Dinâmica da comunidade arbórea de uma mata de galeria do Brasil Central em um período de 19 anos (1985-2004). *Revista Brasileira de Botânica*, v. 31, n. 4, p. 597–610, 2008.

PARRAS, R.; AGRÔNOMO, E. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA -UNESP CAMPUS DE JABOTICABAL PEGADA ECOLÓGICA DE USO DO SOLO E ÍNDICE DE CIRCULARIDADE NA ABORDAGEM DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/16689dad-ebb7-446b-a05e-0ea1d529736e/content>>. Acesso em: 10 nov. 2023.

PENA, Rodolfo F. Alves. "Cerrado: a caixa d'água do Brasil"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/cerrado-caixa-dagua-brasil.htm>. Acesso em 24 de novembro de 2023.

Pereira, Izaura Cristina Nunes. Estoque de domínios e carbono florestal em unidades de paisagem na Amazônia: uma análise a partir da abordagem metodológica Ecologia da Paisagem / Izaura Cristina Nunes Pereira; Orientador, Juarez Carlos Brito Pezzuti. – 2013. 177 f.: il.; 29 cm

Por que o monitoramento do Cerrado feito pelo Inpe não deveria acabar. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio-Ambiente/noticia/2022/01/por-que-o-monitoramento-do-cerrado-feito-pelo-inpe-nao-deveria-acabar.html>>. Acesso em: 10 nov. 2023.

PYLES, M. V. et al. Carbon outcomes from the restoration and management of dry tropical forests. *Nature Climate Change*, v. 8, n. 9, p. 819-825, 2018.

QURESHI, A. et al. Carbon storage function of tropical forests in Korup National Park, Cameroon. *African Journal of Environmental Science and Technology*, v. 6, n. 2, p. 115-124, 2012.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2017.

REJEOU-MECHAIN, M. et al. DOMÍNIOSS: an R package for estimating above-ground domíniooss and its uncertainty in tropical forests. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 9, n. 9, p. 1842-1851, 2018.

RIBEIRO, S. C. et al. Fire effects on the composition of a cerrado sensu stricto understorey as measured by the number of individuals and basal area. *Austral Ecology*, v. 37, n. 6, p. 685-692, 2012.

RIBEIRO, S. C. et al. The importance of edaphic environments for woody plant species distribution in the Cerrado Biome. *Forest Ecology and Management*, v. 398, p. 1-9, 2017.

ROQUETTE, J. G. Diversidade e estoque de carbono em solos sob diferentes coberturas vegetais no nordeste do estado de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2018.

SANQUETTA, C. R. et al. Dinâmica em superfície, volume, domínioossa e carbono nas Florestas Nativas Brasileiras: 1990-2015. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 3, n. 1, p. 193–198, 2018.

SCOLFORO, H. F. et al. Domíniooss estimation equations for important tree species of the Brazilian Savannas. *Floresta e Ambiente*, v. 23, n. 4, p. 468-479, 2016.

SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W.(Ed.). Inventário florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa. Lavras: UFLA, 2008b. p. 67-101.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. DE; OLIVEIRA, A. D. DE. Inventário Florestal de Minas Gerais: Cerrado-Florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de

altura, volumetria, tendência de crescimento e áreas aptas para o manejo florestal. Lavras: Editora UFLA. 2008, p. 816

SILVA NETO, V. L. et al. Raízes de espécies do Cerrado e seus papéis ecológicos. Científica, v. 44, n. 1, p. 100-109, 2016.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. Nature Ecology & Evolution, v. 1, n. 4, p. 99, 2017.

TERRA, M. DE C. N. S. et al. Tree species dominance in neotropical savanna aboveground domínioos and productivity. Forest Ecology and Management, v. 496, p. 119430, 15 set. 2021.

TERRA, M. C. N. S. et al. The inverted forest: Aboveground and notably large belowground carbon stocks and their drivers in Brazilian savannas. Science of The Total Environment, v. 867, p. 161320, 1 abr. 2023.

TILMAN, D.; ISBELL, F.; COWLES, J. M. Biodiversity and ecosystem functioning. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, v. 45, p. 471-493, 2014.

VANDERWEL, M. C. et al. Global patterns of terrestrial assemblage turnover within and among land uses. Ecography, v. 36, n. 9, p. 1157-1164, 2013.

WWF (WORLD WIDE FUND FOR NATURE). 2019. Mapa – Domínio Cerrado. Disponível em: . Acesso em: 23 nov. 2023.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. Análise exploratória e estatística multivariada em estudos de geoquímica ambiental. Geochimica Brasiliensis, v. 27, n. 2, p. 81-94, 2013.