



NATIELLE GOMES CORDEIRO

**VARIAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAIS EM ÁREAS DE
CERRADO EM MINAS GERAIS**

LAVRAS – MG

2019

NATIELLE GOMES CORDEIRO

**VARIAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAIS EM ÁREAS DE CERRADO
EM MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Manejo Florestal, para obtenção do título de Mestre.

Dr. José Marcio de Mello

Orientador

Dra. Marcela de Castro Nunes Santos Terra

Coorientadora

LAVRAS – MG

2019

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

Cordeiro, Natielle Gomes.

Variações espaço-temporais em áreas de Cerrado em Minas Gerais/ Natielle Gomes Cordeiro. - 2019.

76 p.

Orientador(a): José Márcio de Mello.

Coorientador(a): Marcela de Castro Nunes Santos Terra.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Cerrado. 2. Dinâmica da vegetação. 3. Geoestatística. I. Mello, José Márcio de. II. Terra, Marcela de Castro Nunes Santos. III. Título.

O conteúdo desta obra é de responsabilidade do(a) autor(a) e de seu orientador(a).

NATIELLE GOMES CORDEIRO

**VARIAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAIS EM ÁREAS DE CERRADO
EM MINAS GERAIS**

**SPACE-TEMPORAL VARIATIONS IN AREAS OF
CERRADO IN MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Manejo Florestal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 21 de fevereiro de 2019.

Dra. Adriana Leandra de Assis	UFMG
Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior	UFLA
Dr. Lucas Rezende Gomide	UFLA
Dra. Marcela de Castro Nunes Santos Terra	UFLA

Dr. José Marcio de Mello
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

Dedico aos meus pais, Antonio Cordeiro e Karlla Gomes, e ao meu irmão Carlos Antônio por todo apoio e incentivo concebido durante essa jornada. Por serem a minha base e alicerce durante toda a trajetória.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por todas as bênçãos derramadas ao meu favor, cumprindo tudo quanto almeja meu coração sem eu ao menos merecer. A Ele por fazer com que tudo cooperasse para o meu bem e por sempre me dar forças para lutar.

Gratidão pela oportunidade de viver tantas maravilhas, alcançar tantas vitórias e contemplar a misericórdia Divina.

Aos meus pais, Antonio e Karlla, por todo apoio, incentivo e suporte nesta jornada. Pelos conselhos e ensinamentos de cada dia e acima de tudo, pelo amor. Mesmo com a distância, sempre foram minha base e força diária.

Ao meu irmão, Carlos, pelo companheirismo.

Ao meu orientador, José Márcio, pela maestria, exemplo profissional e disponibilidade. Obrigada por todos os ensinamentos.

À minha coorientadora, por todo suporte, incentivo, consideração e orientação. Você fez a diferença nesta jornada.

A todos os professores da UFLA pelos ensinamentos e convivência.

Aos meus amigos Alisson e Luiz por vivenciar as mesmas lutas, angústias, mas também vitórias, realizações e bons momentos.

À amiga de profissão e da vida, Kelly, que me acompanhou em todos os momentos. Obrigada por compartilhar comigo os bons e maus momentos. Gratidão pela pessoa que você é.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), principalmente ao Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal (LEMAF) pela estrutura disponibilizada.

Ao laboratório de Inventário Florestal e Estatística Espacial, em especial os meus colegas Inácio e Luiz pela ajuda no desenvolvimento dos trabalhos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro durante todo o período do mestrado.

“A persistência é o menor caminho do êxito.”

(Charlie Chaplin)

RESUMO

O Cerrado é uma formação vegetal com grande potencial fitofisionômico e apresenta uma significativa diversidade quanto a fauna e flora. Devido as suas características intrínsecas, o domínio se caracteriza como um *hotspot* mundial e atua como sumidouro de carbono. Sendo assim, é importante ressaltar que, o conhecimento das suas fitofisionomias, por meio dos levantamentos florísticos potencializa a compreensão da estrutura e desenvolvimento da comunidade arbórea, subsidiando informações para o emprego de estratégias de conservação e preservação. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica da comunidade arbórea das fitofisionomias campo cerrado e cerrado *sensu stricto* em fragmentos situados em Minas Gerais com mensurações em três intervalos de tempo (fragmento I: 2003, 2010 e 2014; fragmento II: 2003, 2005 e 2010; fragmento III: 2002, 2005 e 2013), bem como realizar a quantificação do estoque de carbono e analisar suas variações temporais e espaciais nos respectivos períodos. Para desenvolvimento do trabalho realizou-se inventários em três fragmentos de Cerrado situados em Brasilândia de Minas, Corinto 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 empregou-se a identificação botânica. Realizou-se o estudo da dinâmica da comunidade arbórea, estrutura diamétrica, análise de correspondência destendenciada (DCA), bem como a quantificação do estoque de carbono e análise espacial da variável. As áreas apresentaram maior taxa de recrutamento em relação a mortalidade. Por meio da DCA, os autovalores permitiram predizer que há uma maior heterogeneidade para os fragmentos I e III quando comparados com o fragmento II, apresentando assim uma maior substituição de espécies ao longo do primeiro eixo. Ressalta-se que a área basal apresentou uma variação entre 3,67 a 13,07 m².ha⁻¹ e a variação média do carbono esteve entre 10,23 e 32,8 Mg.ha⁻¹. Ao quantificar o incremento periódico anual por hectare, observa-se que este variou entre 0,3054 a 2,5740 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. Os mapas temáticos permitiram inferir quanto ao crescimento do estoque de carbono, confirmando por meio da correlação dos mapas a diferença entre os períodos em cada área. Os três fragmentos mantiveram um desenvolvimento e crescimento significativo e conseqüentemente o estoque de carbono teve um aumento progressivo.

Palavras-chave: Estoque de carbono. Dinâmica da vegetação. Geoestatística.

ABSTRACT

The Cerrado is a plant formation with great potential phytophysiological which has a significant diversity related to the fauna and flora. Given its intrinsic characteristics, the domain is characterized as a global *hotspot* and acts as a carbon sink. Thus, it is important to emphasize the knowledge of its phytophysiognomies, in which, through floristic surveys, it is possible to understand the structure and development of the tree community and provide information for elaboration of conservation and preservation strategies. The aim of this study was to evaluate the vegetation dynamics of the campo cerrado and cerrado *sensu stricto* phytophysiognomies in fragments located in Minas Gerais by the measurements of three time intervals (fragment I: 2003, 2010 and 2014, fragment II: 2003, 2005 and 2010, and fragment III: 2002, 2005 and 2013), as well as quantify the carbon stock and analyze its temporal and spatial variations in the respective periods. Forest surveys were carried out in three Cerrado fragments located in Brasilândia de Minas, Corinto and Olhos d'Água. It was sampled a specific number of plots (10 x 100m) into the areas of interest and all individuals with diameter at 1.30 meters of soil (DBH) $\geq 5\text{cm}$ were measured had the total height measured, as well as the botanical identification. The dynamics of the tree community, diametric structure, extended-correspondence analysis (DCA), as well as the carbon stock quantification and spatial analysis of the variable were studied. The areas showed a higher recruitment rate when compared to mortality. The DCA allowed to predict that there is a greater heterogeneity for the fragments I and III when compared to the fragment II, thus presenting a greater substitution of species along the first axis. It should be noted that basal area, varied between 3.67 and 13.07 $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ and the average carbon variation was between 10.23 and 32.8 $\text{Mg}.\text{ha}^{-1}$. It was observed through the annual increment per hectare a variation from 0.3054 to 2.5740 $\text{Mg}.\text{ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$. The thematic maps allowed to infer about the growth of the carbon stock, confirming through the correlation of the maps the difference between the periods in each area. The three fragments maintained a significant development and growth and consequently the carbon stock had a progressive increase.

Keywords: Carbon stock. Vegetation dynamics. Geostatistics.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	11
1. INTRODUÇÃO GERAL	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. Cerrado	13
2.2. Dinâmica da comunidade arbórea	15
2.3. Estoque de carbono	17
2.4. Geoestatística	19
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO II	28
DINÂMICA DA VEGETAÇÃO ARBÓREA EM FRAGMENTOS DE CERRADO EM MINAS GERAIS	Erro! Indicador não definido.
RESUMO	28
ABSTRACT	28
1. INTRODUÇÃO	29
2. MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1 Área de estudo	30
2.2 Base de dados	32
2.3 Análise de Dados	33
2.3.1 Estudo de dinâmica da comunidade arbórea	33
2.3.2 Estrutura diamétrica	35
2.3.3 Análise de Correspondência Destendenciada (DCA)	35
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4. CONCLUSÃO	47
CAPÍTULO III	51
VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO ESTOQUE DE CARBONO EM FRAGMENTOS DE CERRADO EM MINAS GERAIS	51
RESUMO	51
ABSTRACT	51
1. INTRODUÇÃO	52
2. MATERIAIS E MÉTODOS	53
2.1 Área de estudo	53
2.2 Base de dados	55
2.3 Análise de dados	55
2.3.1 Estimativa de carbono	55
2.3.2 Análise espacial	57

3. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	57
4. CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS	73

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO GERAL

As florestas nativas possuem uma riqueza de suma importância e por isso são essenciais nos quesitos ambientais, sociais e econômicos (ARNOLD et al., 2011; PINHEIRO; MARCELINO; MOURA, 2018). Dessa forma, empreender o conhecimento quanto a estrutura e desenvolvimento, bem como realizar a estimativa do estoque presente, permite prever a respeito do potencial das espécies no sequestro de carbono, fornecimento de produtos madeireiros e não madeireiros e auxilia na elaboração de planos de manejo (BATISTA et al., 2015; BINOTI; BINOTI; LEITE, 2013; SANTOS et al., 2013).

No Brasil, as áreas naturais estão abrigadas em seis grandes domínios: Caatinga, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal, Cerrado e Floresta Amazônica (COUTINHO, 2016). Dentre as formações com expressiva extensão territorial e riqueza em biodiversidade, o Cerrado é considerado como um *hotspot* mundial e abrange desde áreas que vão de campos abertos até florestas densas (MYERS et al., 2000; STRASSBURG et al., 2017).

Ainda que exaustivamente se ressalte a importância dos recursos naturais, o atual cenário ambiental têm se tornado alarmante, devido à grande perda de biodiversidade, oriunda principalmente das ações antrópicas nos habitats (MARRIS, 2009; SILVA; ROSSA-FERES, 2017; TABARELLI; GASCON, 2005). Nesse sentido, as florestas estão se transformando em paisagens fragmentadas (TABARELLI et al., 2012) e por isso o entendimento das respostas da vegetação em função dessas novas áreas é de extrema relevância para que possa se conciliar a sustentabilidade (JOLY; METZGER; TABARELLI, 2014).

Cabe ressaltar que os remanescentes ou fragmentos de vegetação natural possuem uma diversidade biológica significativa, e por isso, de irrefutável importância ambiental. Por conseguinte, o conhecimento da estrutura e o desenvolvimento das formações vegetais se faz necessário para a sua conservação e restauração (ESPÍRITO-SANTO et al., 2002). Apesar das perdas que os fragmentos vêm sofrendo em suas dimensões, essas áreas são importantes para a manutenção da biodiversidade, pois possuem um grande potencial de estocagem de carbono. Ademais, o sequestro do carbono, serviço ecossistêmico propiciado pelas florestas, possui um papel relevante para a mitigação das mudanças climáticas e permite prever quanto as tomadas de decisões a serem realizadas para a conservação e preservação dos ecossistemas (CRAMER et al., 2004; FEARNside, 2006; RIBEIRO et al., 2009).

Mediante o conhecimento dos processos ecológicos, crescimento e desenvolvimento dos fragmentos é possível inferir sobre quais as principais e melhores medidas a serem realizadas no quesito conservação e restauração de um ambiente (CALEGARI et al., 2010). A recente fragmentação desregrada dos ecossistemas implica em um agravamento das mudanças climáticas, principalmente com um maior percentual de gases de efeito estufa sendo emitidos. Com isso, a quantificação do estoque presente e conhecimento da estrutura da floresta permitem prever sobre o uso de técnicas adequadas para a recuperação de áreas degradadas (GASPAR et al., 2016).

Muitos estudos são empregados visando a quantificação do estoque de carbono presente em um tempo específico (LOPES; MIOLA, 2010; MORAIS et al., 2013; SANTANA et al., 2013), no entanto, poucos são os estudos direcionados para esta análise no longo prazo (CORDEIRO et al., 2018; SANQUETTA et al., 2018). Tendo em vista este cenário, o estudo da dinâmica da comunidade vegetal, além de ser fonte para tomadas de decisão quanto ao manejo e aspectos de preservação e conservação do ambiente, também permite inferir sobre o comportamento das espécies ao longo do tempo no que se refere ao crescimento, desenvolvimento e armazenamento de carbono (FIGUEIREDO et al., 2015).

Além disso, a estimativa das características e desenvolvimento das formações vegetais podem ser melhor visualizadas mediante o emprego de técnicas como a geoestatística, ferramenta espacial que busca descrever uma característica de interesse nos termos de sua distribuição e variabilidade, considerando o espaço (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Nessa conjuntura, o presente estudo tem como objetivo avaliar a dinâmica da comunidade arbórea nas fitofisionomias campo cerrado e cerrado *sensu stricto* em fragmentos situados em Minas Gerais com mensurações em três intervalos de tempo (fragmento I: 2003, 2010 e 2014; fragmento II: 2003, 2005 e 2010; fragmento III: 2002, 2005 e 2013), bem como realizar a quantificação do estoque de carbono e analisar suas variações temporais e espaciais nos respectivos períodos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cerrado

O Cerrado se constitui do segundo maior domínio vegetacional brasileiro, com aproximadamente 2 milhões de km² de extensão, ficando atrás apenas da Floresta Amazônica (FERREIRA et al., 2016; GOULART; PASSOUS; NUCCI, 2015). A distribuição do domínio abrange regiões que vão do norte ao sul do país, ocupando áreas nos estados da Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, dentre outros (SANO et al., 2008a). Segundo Sano et al. (2008b), as áreas do Cerrado com maior *status* de conservação se encontram na região norte do país. Já as áreas com menor índice de preservação, em decorrência da facilidade de acesso para exploração, estão localizadas principalmente em Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás (FIGURA 1).

Figura 1 – Mapa do domínio Cerrado no Brasil.



Fonte: Adaptado de WWF, 2019.

O domínio é caracterizado por exibir uma ampla diversidade ecológica e paisagística, além disso se destaca por apresentar uma variação representativa de fisionomia, isto é, abrange um complexo vegetacional composto por um mosaico de formações florestais, campestres e savânicas (MORENO et al., 2015; PIZOLETTO et al., 2018; SANO et al., 2008b; SPERA et

al., 2016). Dentre as suas fitofisionomias é eminente se ponderar a existência de um significativo percentual de espécies endêmicas, tanto da fauna como da flora (SANTO FILHO, 2011, p. 34). No entanto, é importante salientar que parte destas espécies vegetais estão se tornando extintas, o que representa em uma ameaça para a flora da formação vegetal.

Considerado como um dos *hotspots* mundiais devido a biodiversidade que abriga (MYERS et al., 2000), o Cerrado vêm sofrendo perdas em seu habitat em decorrência à expansão urbana e atividades antrópicas. Em outras palavras, existe uma transformação desenfreada da vegetação, sendo as áreas naturais destinadas à agricultura e pastagem (DURIGAN, 2010; FERREIRA et al., 2016; MIRANDA et al., 2014; SANO et al., 2008a).

Apesar da expressiva importância ecológica que o Cerrado possui, o uso desordenado de seus recursos, além da perda em biodiversidade e desequilíbrio ecológico, provoca a fragmentação da formação (GOULART; PASSOUS; NUCCI, 2015; KLINK; MACHADO, 2005). Considerando a perda de biodiversidade do domínio em relação a sua conjuntura inicial, entre todos os domínios brasileiros, esta é classificada como a maior e mais rápida em proporção (TRANCOSO; SANO; MENESES, 2015). Além disso, as alterações impostas aos ecossistemas trazem tanto perdas ambientais, quanto sociais e econômicas, visto que, os recursos disponíveis são empregados para o subsídio das comunidades que ocupam o entorno da vegetação. O domínio é composto por plantas com potencial de usos múltiplos, principalmente destinados ao artesanato, alimentos em geral e produtos medicinais (FERREIRA et al., 2016). Por exemplo, um número significativo de espécies endêmicas são consideradas frutíferas, permitindo assim a sua utilização agrícola (SILVA et al., 2008).

Dada a importância do domínio, ações conservativas são necessárias e vêm sendo empreendidas por órgãos competentes por meio de legislações e planos estratégicos de proteção. Dentre estes, no ano de 2010, o Ministério do Meio Ambiente arquitetou e implementou o Plano de Ação para Preservação e Conservação das Queimadas no Cerrado (PPCerrado). Este documento serve como referência para a redução das emissões provenientes do desmatamento no território brasileiro, que tem como objetivo a redução em 40% até o ano de 2020 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2010).

O desmatamento ocasionado no Cerrado, devido principalmente a urbanização sem estratégias de ocupação e expansão do agronegócio (DURIGAN, 2010; FERREIRA et al., 2016), motivou a estruturação de um sistema que objetiva o seu monitoramento. O Programa Monitoramento Cerrado (PRODES Cerrado), implementado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) projetou a avaliação no período de 2000 a 2018 por meio de um

mapeamento que retrata as influências antrópicas nos intervalos analisados (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2018a). De acordo com dados do INPE, originados do programa supracitado, considerando um intervalo de análise entre agosto de 2017 a julho de 2018, houve um decréscimo no desmatamento de 6.657 km². Destaca-se que entre os estados que mais contribuíram para o desmatamento em 2018, tem-se o Tocantins (23%), Maranhão (22,1%) e Mato Grosso (15%). Em relação ao estado de Minas Gerais, a contribuição foi de 7,1%. Ao comparar os dados de 2017 e 2018, Minas Gerais teve uma redução de 7,7% no desmatamento (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2018b).

No mesmo sentido, para fomentar a correta utilização dos recursos naturais o Código Florestal brasileiro foi criado, pois através dos seus instrumentos essas taxas de desmatamento podem ser reduzidas. Este documento é um precursor das medidas a serem adotadas quanto ao uso do solo das propriedades atentando para a proteção das reservas legais, áreas de proteção permanente e conservação da fitofisionomia no qual está inserido (BRASIL, 2012). Quando aplicada ao Cerrado, as propriedades que estejam em áreas do domínio, devem obrigatoriamente conservarem de 20 a 35% da formação natural ali existente (AZEVEDO et al., 2017; TAMBOSI et al., 2015).

Tendo em vista o cenário exposto, o domínio possui grande relevância nos aspectos ecológicos, econômicos e culturais, bem como é destaque por cooperar com a produção hídrica de grandes bacias brasileiras (SANTO FILHO, 2011, p. 33). Com isso, a caracterização da riqueza do Cerrado é imprescindível para a determinação e elaboração de planos que visem a conservação e uso sustentável dos recursos disponibilizados pela formação vegetal (PIZOLETTO et al., 2018).

2.2. Dinâmica da comunidade arbórea

A compreensão dos fenômenos que ocorrem nas florestas e conseqüente elaboração do plano de manejo, isto é, a definição quanto a utilização e exploração dos recursos naturais é decorrente da avaliação do processo evolutivo e mudanças das comunidades arbóreas, determinados de forma quantitativa e qualitativa (NAPPO et al., 2005). Com isso, a implementação de práticas de manejo, restauração dos ecossistemas e a identificação de fatores que exprimem influência no ambiente são preditos pelos estudos da dinâmica da comunidade arbórea.

A dinâmica da vegetação permite inferir sobre as influências de fatores externos nas florestas, processo evolutivo das espécies, determinar fatores abióticos e bióticos que estão relacionados com o desenvolvimento da vegetação, e principalmente prever a respeito dos processos ecológicos. Além disso, fornece subsídios para o entendimento da influência exercida pelas formações vegetais sobre o clima, sobretudo em relação a questão de sequestro e emissão do carbono (BOTEZELLI et al., 2005; BRAGA; REZENDE, 2007; SILVA et al., 2011).

Nesse contexto, a dinâmica natural dos ecossistemas ocorre principalmente em áreas que apresentam reduzida ou nenhuma pressão antrópica, sendo consideradas que existem um baixo impacto, ou seja, baixa diminuição no número de espécies e arranjo da comunidade. Assim, a avaliação da composição e diversidade em um determinado período viabiliza a predição e compreensão das mudanças ocorrentes na floresta por meio das taxas de dinâmica (ALMEIDA et al., 2014).

O conhecimento dos parâmetros advindos da dinâmica da comunidade arbórea permitem inferir de forma mais precisa quanto a estrutura horizontal e vertical de uma vegetação, assim como a capacidade regenerativa dos ecossistemas e prever quanto a grandeza de espécies raras (BRAGA; REZENDE, 2007; LIBANO; FELFILI, 2006; SANQUETTA; CÔRTE; EISFELD, 2003).

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).

O recrutamento está associado ao ingresso de indivíduos na amostragem, mediante o alcance do método de inclusão (OLIVEIRA; FELFILI, 2008). Por fim, o crescimento que está atrelado a produção presente e futura de uma floresta é de suma importância para as tomadas de decisão, pois implica na quantificação da disponibilidade de matéria-prima existente (MOSCOVICH, 2006, p. 15).

Estudos sobre a dinâmica das espécies arbóreas devem ser realizados, pois por meio destes é possível a obtenção de mecanismos que subsidiem as informações atreladas à conservação e preservação das formações vegetais. A exemplo, Gomes et al. (2016) avaliando a dinâmica da comunidade vegetal em duas áreas de Cerrado, com características edáficas distintas, encontraram uma mortalidade de 4,92% e 6,20%.ano⁻¹ e um recrutamento de 24,35% e 15,14%.ano⁻¹ para o cerrado *sensu stricto* e cerrado rupestre, respectivamente. Os autores

discorrem a respeito da importância em analisar as fitofisionomias de forma separada para que se possa inferir com maior precisão quanto as tomadas de decisões a serem realizadas.

De acordo Maracahipes et al. (2014), fatores associados as ações antrópicas e distúrbios como o fogo, além de provocarem mudanças quanto à diversidade e riqueza de espécies em determinada vegetação, ocasionam consequências no estoque presente e dinâmica da área. Considerando duas áreas com e sem histórico de queimadas, os autores avaliaram as mudanças ocorrentes nas taxas de dinâmica durante um período de três anos para cada área. Os autores observaram que a taxa de mortalidade foi superior que o recrutamento na área com evento de fogo, bem como a própria mortalidade na área sem o evento de fogo.

Ademais, cabe ressaltar que o desenvolvimento da comunidade vegetal sofre alterações ao decorrer do tempo e o conhecimento das influências provocadas em suas estruturas permitem o emprego de ações mitigadoras, conservacionistas e preservacionistas. Assim, é possível realizar uma melhor quantificação das características qualitativas e quantitativas da área.

2.3. Estoque de carbono

O ciclo global do carbono é diretamente influenciado pelas mudanças ocorrentes nas formações vegetais, sejam essas alterações de caráter natural ou antrópico (PAIVA; REZENDE; PEREIRA, 2011). Este ciclo é caracterizado pela troca gasosa existente entre a atmosfera e a vegetação, representando o fluxo de entrada e saída do carbono, por meio da respiração, decomposição, combustão, mas principalmente pela fotossíntese (JANDL et al., 2006). No entanto, devido as constantes alterações realizadas no ambiente, como desmatamento, queimadas e uso intensificado do solo, recentemente, o acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera aumentou consideravelmente (PAIVA; FARIA, 2007) e por isso a estocagem do carbono por parte dos ecossistemas naturais é imprescindível para manutenção desse sistema.

O estoque de carbono é um serviço ambiental de suma importância prestado pelas florestas (RIBEIRO et al., 2009), ou seja, as formações vegetais além de desempenhar funções eco-hidrológicas, também funcionam como sumidouro de carbono, influenciando assim na mitigação das mudanças climáticas (AZEVEDO et al., 2018; LIMA et al., 2013; RIBEIRO et al., 2017; TAMBOSI et al., 2015).

No entanto, muitas são as modificações nos ecossistemas e na atmosfera fomentadas pelas ações antrópicas (CARVALHO et al., 2010; RIBEIRO et al., 2010) e as alterações

provocadas nos ambientes naturais acarretam em efeitos inesperados no estoque de carbono na área de interesse. Assim, a constante exploração predatória e fragmentação, além dos eventos de fogo, provocam desequilíbrio na vegetação e conseqüente diminuição do estoque presente (BELLO et al., 2015). Contudo, de acordo com os autores supracitados, a redução nas interações ecológicas e a defaunação também constituem fatores que influenciam na estocagem de carbono pelas formações vegetais.

Nesse sentido, a quantidade de carbono estocado é dependente da conservação da área de interesse. Todavia, a quebra do equilíbrio dinâmico em decorrência de atividades antrópicas faz com que a entrada de carbono no ecossistema seja menor que as saídas. Cardoso et al., (2010) afirmam que a mudança da vegetação nativa para áreas transformadas em pastagem provoca a redução de estoque de carbono no solo. Assim também, Silva et al. (2009) discorrem que há um efeito negativo no teor de carbono da biomassa microbiana quando se suprime a vegetação do Cerrado por espécies como o pinus e eucalipto.

Modificações na composição vegetal, pode afetar de maneira desfavorável nos ciclos biogeoquímicos, sendo que as interferências podem ser locais ou globais, como é o caso da maior emissão de gases do efeito estufa (COUTINHO et al., 2010). A quantidade de estoque presente em relação à biomassa, volume e carbono em áreas com mesmas condições edafoclimáticas podem se diferir (AMARO et al., 2013). Tal afirmação está associada ao fato de que outros fatores como a variação genética dentro e entre as espécies, disponibilidade de água e relevo influenciam na produção e acúmulo de biomassa.

A determinação da biomassa presente nas florestas é propiciada pelos métodos diretos e indiretos. Os métodos indiretos consistem no estabelecimento de relações entre a biomassa e variáveis de fácil mensuração como o diâmetro e a altura (FERRAZ et al., 2014; RIBEIRO et al., 2017). Já os métodos diretos estão relacionados com o abate das árvores (QURESHI et al., 2012). Com isso, a variação do estoque de carbono em fitofisionomias semelhantes está atrelada ao fato de que pode haver uma diferenciação da distribuição diamétrica, composição de espécies, área basal e altura da floresta, além da metodologia utilizada para estimativa (AMARO et al., 2013).

Cordeiro et al. (2018) ao quantificarem o estoque de carbono presente em uma área de cerrado *sensu stricto* com bom *status* de conservação, isto é, com controle das ações antrópicas, encontraram um estoque de carbono variando entre 11,51 a 34,52 Mg.ha⁻¹ considerando os intervalos de medição 1993-2000 e 2000-2009. Por outro lado, Sanquetta et al. (2018) avaliando a dinâmica em superfície, volume, biomassa e carbono nas florestas nativas brasileiras, em um

período de 25 anos, constataram que estas características de interesse sofrem consequências negativas em decorrência da perda de cobertura vegetal. Ribeiro et al. (2017) avaliando a influência da variação interespecífica no estoque de carbono arbóreo em uma área de Cerrado, afirmam que algumas espécies possuem maior capacidade de armazenamento de carbono. Os autores argumentam que o estoque de carbono está diretamente relacionado com o número de indivíduos e suas respectivas características como tamanho e densidade da madeira.

Por fim, a restauração de áreas com fortes intervenções antrópicas, além de contribuir para a conservação dos ambientes é de suma importância para o crescimento da estocagem de carbono (AZEVEDO et al., 2018), pois por meio da fotossíntese, o dióxido de carbono é absorvido pelas plantas e armazenado como biomassa, interferindo diretamente na mitigação climática (FIGUEIREDO et al., 2015; RIBEIRO et al., 2017).

2.4. Geoestatística

A geoestatística é um ramo da estatística espacial que visa descrever uma variável de interesse quanto a sua variabilidade e distribuição no espaço (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Mediante a utilização desta ferramenta é possível inferir a respeito da presença ou ausência de dependência espacial, realizar o gerenciamento adequado da característica de interesse, construção de mapas temáticos, direcionamento quanto à posteriores modelagens e amostragens, além de permitir a determinação de valores da variável em locais não amostrados (GOMES et al., 2007).

A estimativa ou interpolação, que está atrelada com a determinação de valores da característica em pontos não amostrados, se dá pelo processo de inferência espacial. Tal procedimento abrange o uso de funções locais ou globais (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). No entanto, as características espaciais de interesse podem apresentar inconstância no seu comportamento em decorrência de diversos fatores. Estas variabilidades podem ser de natureza aleatória ou não aleatória, que são respectivamente consideradas como tendência e dependência espacial (SEIDEL; OLIVEIRA, 2014).

Com o intuito de avaliar a dispersão dos dados na geoestatística, emprega-se a semivariância, diferindo da estatística clássica que utiliza da variância. Ressalta-se que a dependência espacial é melhor interpretada mediante os parâmetros descritos no variograma, sendo estes, alcance, patamar e efeito pepita (AQUINO et al., 2014).

Dada a diversidade de técnicas descritas pela geoestatística, esta é aplicada em diversas áreas buscando retratar o desempenho das variáveis. Na área florestal, estudos vêm empregando esta ferramenta para determinação de características de interesse (AQUINO et al., 2014; CORREIA; MENEZES; OLINDA, 2013; LUNDGREN; SILVA; FERREIRA, 2016; SCOLFORO et al., 2016). A exemplo, Morais et al. (2017) empreenderam a técnica objetivando avaliar a distribuição espacial e vertical do carbono em serapilheira e subsolo em vegetação do Cerrado brasileiro.

Em estudo realizado sobre o mapeamento da biomassa acima do solo por meio do inventário florestal, sensoriamento remoto e técnicas geoestatísticas, Yadav e Nandy (2015) afirmam que as avaliações da biomassa florestal se faz importante, pois contribuem para o entendimento do manejo florestal a ser realizado, bem como a descrição das características que a vegetação dispõe e que podem ser influenciáveis no ciclo do carbono e para as questões climáticas. Portanto, para os autores, essa avaliação concernente a distribuição da biomassa florestal mediante o mapeamento da característica de interesse se torna uma ferramenta de suma relevância para o planejamento das operações, pois a caracterização de forma precisa possibilita o entendimento do desenvolvimento da vegetação e conseqüentemente a quantificação do carbono.

A eficiência da técnica de geoestatística também pode ser empregada na mitigação climática, sendo esta diretamente influenciada pela conservação da vegetação. Por exemplo, um estudo realizado quanto a distribuição do estoque de carbono acima do solo em florestas de coníferas no México, por meio de uma abordagem de sensoriamento remoto e geoestatística, Galeana-Pizanã et al. (2014) discorrem que a utilização de um método geoespacial híbrido, relacionado a Krigagem por regressão tem eficiência na estimativa da biomassa acima do solo.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O domínio Cerrado abriga uma diversidade significativa quanto a fauna e flora, sendo que o conhecimento da estrutura desta formação permite empreender um melhor direcionamento para ações de conservação e preservação, além do uso sustentável, mediante a implementação de planos de manejo adequados. Portanto, estudos que visem avaliar o desenvolvimento da comunidade arbórea, assim como quantificar o estoque presente são de grande relevância.

O estudo da dinâmica da comunidade arbórea fornece o conhecimento da estrutura e desenvolvimento da vegetação, assim como permite inferir quanto a diversidade de espécies presentes e mudanças florísticas ocorrentes. Por meio dessa avaliação, faz-se possível compreender a respeito da contribuição que as diferentes espécies vegetais possuem na estocagem de carbono. Além disso, com esse conhecimento é possível entender o papel das espécies na manutenção do ciclo de carbono, bem como sobre a sua atuação na mitigação das mudanças climáticas.

Além dos métodos tradicionais utilizados para o conhecimento das interações existentes na formação vegetal, é importante que se busque por alternativas que venham favorecer e subsidiar a obtenção de informações concisas. A exemplo, a geoestatística se destaca por permitir a caracterização da variável de interesse com a avaliação da distribuição espacial.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. F. et al. Mudanças florísticas e estruturais no cerrado *sensu stricto* ao longo de 27 anos (1985-2012) na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. **Rodriguesia**, v. 65, n. 1, p. 1–19, 2014.
- AMARO, M. A. et al. Estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 849–857, 2013.
- AQUINO, R. E. de et al. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 38, n. 2, p. 397–406, 2014.
- ARNOLD, M. et al. EDITORIAL: Forests, biodiversity and food security. **International Forestry Review**, v. 13, n. 3, p. 259–264, 2011.
- AZEVEDO, A. A. et al. Limits of Brazil's Forest Code as a means to end illegal deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 114, n. 29, p. 7653–7658, 2017.
- AZEVEDO, A. D. de et al. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 183–194, 2018.
- BATISTA, A. P. B. et al. Caracterização estrutural em uma floresta de terra firme no estado do Amapá, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 81, p. 21, 2015.
- BELLO, C. et al. Defaunation affects carbon storage in tropical forests. **Science Advances**, v. 01, n. 01, p. 1-10, 2015.
- BINOTI, M. L. M. da S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Aplicação de redes neurais artificiais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 639–645, 2013.
- BOTEZELLI, L. et al. Relações entre estudos da dinâmica florestal, conservação da biodiversidade e ecoturismo. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 3, n. 6, p. 1–4, 2005.
- BRAGA, F. M. S.; REZENDE, A. V. Dinâmica da vegetação arbórea da mata de galeria do Catetinho, Brasília-DF. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 138–148, 2007.
- BRASIL. **Lei nº12.727 de 17 de outubro de 2012 do Código Florestal**, 2012.
- CALEGARI, L. et al. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 871–880, 2010.
- CARDOSO, E. L. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 1028–1035, 2010.
- CARVALHO, J. L. N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277–289, 2010.
- CORDEIRO, N. G. et al. Variação temporal do estoque de carbono e volume de madeira em um fragmento de cerrado *sensu stricto*. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 24, p. 152–166, 2018.

CORREIA, M. D.; MENEZES, R. S. C.; OLINDA, R. A. Modelagem geoestatística da distribuição de carbono do solo e biomassa de herbáceas em sistema silvopastoril na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 31, n. 2, p. 116–129, 2013.

COUTINHO, L. M. **Biomass brasileiros**. 1. ed. São Paulo: Oficina de texto, 2016.

COUTINHO, R. P. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N₂O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p. 195–203, 2010.

CRAMER, W. et al. Tropical forests and the global carbon cycle: impacts of atmospheric carbon dioxide, climate change and rate of deforestation. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 359, n. 1443, p. 331–343, 2004.

DURIGAN, G. Cerrado : o trade-off entre a conservação e o desenvolvimento. **Parcerias Estratégicas**, v. 15, n. 31, p. 243–250, 2010.

ESPÍRITO-SANTO, F. D. B. et al. Variáveis ambientais e distribuição de espécies arbóreas em um remanescente de floresta estacional semidecídua montana no campus da Universidade Federal de Lavras, MG. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 3, p. 331–356, 2002.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 3, p. 395–400, 2006.

FERRAZ, A. S. et al. Estimativa do estoque de biomassa em um fragmento florestal usando imagens orbitais. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 286–296, 2014.

FERREIRA, R. Q. S. et al. Uso potencial e síndromes de dispersão das espécies de três áreas de cerrado sensu stricto, Tocantins. **Global Science and Technology**, v. 9, n. 3, p. 73–86, 2016.

FIGUEIREDO, L. T. M. de et al. Dinâmica do estoque de carbono em fuste de árvores de uma Floresta Estacional Semidecidual. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 161–167, 2015.

GALEANA-PIZAÑA, J. M. et al. Modeling the spatial distribution of above-ground carbon in Mexican coniferous forests using remote sensing and a geostatistical approach. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 30, n. August, p. 179–189, 2014.

GASPAR, R. O. et al. Dendrocronologia na análise do crescimento em diâmetro, volume, biomassa e dióxido de carbono no Cerrado. **Nativa**, v. 4, n. 1, p. 48–52, 2016.

GOMES, L. et al. Dynamics of the woody vegetation of two areas of Cerrado sensu stricto located on different substrates. **Rodriguesia**, v. 67, n. 4, p. 859–870, 2016.

GOMES, N. M. et al. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 435–443, 2007.

GOULART, A. Á.; PASSOUS, E.; NUCCI, J. C. Fragmentação da vegetação de Cerrado, entre os Anos de 1984 e 2011 no Parque Estadual do Cerrado (Jaguariaíva-PR) e em sua Zona de Amortecimento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. 03, p. 857–866, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Monitoramento do Desmatamento no Cerrado Brasileiro por Satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/cerrado/>>. Acesso em: 15 jan. 2019a.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS -INPE. **Desmatamento no Cerrado é de 6.657 km² em 2018**. Disponível em:

<<http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias/desmatamento-no-cerrado-e-de-6-657-km2-em-2018>>. Acesso em: 20 jan. 2019b.

JANDL, R. et al. **The Role of Forests in Carbon Cycles, Sequestration , and Storage**, 2006. Disponível em: <www.iufro.org/science/task-forces/carbon-sequestration/>

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: Ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, n. 3, p. 459–473, 2014.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147–155, 2005.

LIBANO, A. M.; FELFILI, J. M. Mudanças temporais na composição florística e na diversidade de um cerrado sensu stricto do Brasil Central em um período de 18 anos (1985-2003). **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 4, p. 927–936, 2006.

LIMA, R. B. de et al. Emprego da distribuição diamétrica na predição do estado de perturbação em floresta de várzea, Macapá-AP. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 1016–1026, 2013.

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.

LUNDGREN, W. J. C.; SILVA, J. A. A. da; FERREIRA, R. L. C. Influência do tipo de amostragem na estimativa de volume de madeira de eucalipto por krigagem. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 511–523, 2016.

MARACAHIPES, L. et al. Post-fire dynamics of woody vegetation in seasonally flooded forests (impucas) in the Cerrado-Amazonian Forest transition zone. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 209, n. 5–6, p. 260–270, 2014.

MARRIS, E. Ragamuffin earth. **Nature**, v. 460, n. July, p. 450–453, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas**, 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/201/_arquivos/ppcerrado_201.pdf>. Acesso em 06 Jan 2019.

MIRANDA, C. de et al. Regional variations in biomass distribution in Brazilian Savanna Woodland. **Biotropica**, v. 46, n. 2, p. 125–138, 2014.

MORAIS, V. A. et al. Carbon and biomass stocks in a fragment of cerrado in Minas Gerais state, Brazil. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 237–245, 2013.

MORAIS, V. A. et al. Spatial and vertical distribution of litter and bellowground carbon in a Brazilian Cerrado vegetation. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 43–52, 2017.

MORENO, C. et al. Riqueza e composição de Arctiinae (Lepidoptera, Erebidae) em cinco Unidades de Conservação do Cerrado. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 105, n. 3, p. 297–306, 2015.

MOSCOVICH, F. A. **Dinâmica de crescimento de uma Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS**. 2006, 130 p. Tese (Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

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

- NAPPO, M. E. et al. Dinâmica da estrutura diamétrica da regeneração natural de espécies arbóreas e arbustivas no sub-bosque de povoamento puro de *Mimosa scabrella* Benth, em área minerada, em Poços de Caldas, MG. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 35–46, 2005.
- 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.
- PAIVA, A. O.; FARIA, G. E. de. Estoque de carbono do solo sob cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal, Brasil. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 1, n. 1, p. 59–65, 2007.
- PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em Cerrado *sensu stricto* do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 527–538, 2011.
- PINHEIRO, R. T.; MARCELINO, D. G.; MOURA, D. R. Espécies arbóreas de uso múltiplo e sua importância na conservação da biodiversidade nas áreas verdes urbanas de Palmas, Tocantins. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 49, n. Dezembro, p. 264–282, 2018.
- PIZOLETTO, J. A. V. et al. Levantamento florístico e fitossociológico de fragmentos de Cerrado *sensu stricto* do Instituto Florestal no município de Araraquara-SP. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 21, n. 3, p. 86–101, 2018.
- QURESHI, A. et al. A review of protocols used for assessment of carbon stock in forested landscapes. **Environmental Science and Policy**, v. 16, n. February, p. 81–89, 2012.
- RIBEIRO, S. C. et al. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 33, n. 5, p. 917–926, 2009.
- RIBEIRO, S. C. et al. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Arvore**, v. 34, n. 3, p. 495–504, 2010.
- RIBEIRO, S. C. et al. Influence of interspecific variation on tree carbon stock of a Brazilian Cerrado. **Revista Árvore**, v. 41, n. 5, p. 1–11, 2017.
- SANO, E. E. et al. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153–156, 2008a.
- SANO, E. E. et al. **Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado**. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008b.
- SANQUETTA, C. R. et al. Dinâmica em superfície, volume, biomassa e carbono nas Florestas Nativas Brasileiras: 1990-2015. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 193–198, 2018.
- SANQUETTA, C. R.; CÔRTE, A. P. D.; EISFELD, R. D. L. Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) no estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, p. 101–112, 2003.
- SANTANA, O. A. et al. Relação entre o índice de avermelhamento do solo e o estoque de carbono na biomassa aérea da vegetação de Cerrado. **Ciencia Florestal**, v. 23, n. 4, p. 783–794, 2013.
- SANTO FILHO, K. DO E. **Desenvolvimento sustentável no estado de Goiás: A aplicação de modelos qualitativos e quantitativos para a realidade do Cerrado goiano**. 2011. 215 p. Tese (Ciências Ambientais). Universidade Federal de Goiás, 2011.

- SANTOS, E. S. dos et al. Distribuição diamétrica para *Virola surinamensis* (Rol .) Warb na Floresta Estadual do Amapá-Flota /AP. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 13, n. 1, p. 34–47, 2013.
- SCOLFORO, H. F. et al. Spatial interpolators for improving the mapping of carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian biomes of Atlantic Forest and Savanna. **Forest Ecology and Management**, v. 376, n. September, p. 24–35, 2016.
- SEIDEL, E. J.; OLIVEIRA, M. S. de. Proposta de um teste de hipótese para a existência de dependência espacial em dados geostatísticos. **Boletim de Ciências Geodesicas**, v. 20, n. 4, p. 750–764, 2014.
- SILVA, D. M. da et al. Os efeitos dos regimes de fogo sobre a vegetação de cerrado no Parque Nacional das Emas, GO: considerações para a conservação da diversidade. **Biodiversidade Brasileira**, v. 1, n. 2, p. 26–39, 2011.
- SILVA, F. R. da; ROSSA-FERES, D. de C. Fragmentation gradients differentially affect the species range distributions of four taxonomic groups in semi-deciduous Atlantic forest. **Biotropica**, v. 49, n. 3, p. 283–292, 2017.
- SILVA, L. G. da et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 44, n. 6, p. 613–620, 2009.
- SILVA, M. R. et al. Caracterização química de frutos nativos do cerrado. **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1790–1793, 2008.
- SPERA, S. A. et al. Land-use change affects water recycling in Brazil’s last agricultural frontier. **Global Change Biology**, v. 22, n. 10, p. 3405–3413, 2016.
- STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 0099, p. 1–3, 2017.
- TABARELLI, M. et al. A conversão da floresta atlântica em paisagens antrópicas: lições para a conservação da diversidade biológica das florestas tropicais. **Interciencia**, v. 37, n. 2, p. 88–92, 2012.
- TABARELLI, M.; GASCON, C. Lições da pesquisa sobre fragmentação : aperfeiçoando políticas e diretrizes de manejo para a conservação da biodiversidade. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 181–188, 2005.
- TAMBOSI, L. R. et al. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 151–162, 2015.
- TRANCOSO, R.; SANO, E. E.; MENESES, P. R. The spectral changes of deforestation in the Brazilian tropical savanna. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 4145, p. 1–15, 2015.
- WWF (WORLD WIDE FUND FOR NATURE). 2019. **Mapa – Bioma Cerrado**. Disponível em:
<https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/biomas/bioma_cerrado/mapa_bioma_cerrado/>. Acesso em: 23 jan. 2019.
- YADAV, B. K. V; NANDY, S. Mapping aboveground woody biomass using forest inventory, remote sensing and geostatistical techniques. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 5, p. 308, 2015.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de texto, 2013.

CAPÍTULO II

MUDANÇAS ESTRUTURAIS E FLORÍSTICAS EM FRAGMENTOS DE DUAS FITOFISIONOMIAS DE CERRADO

RESUMO

O Cerrado possui uma ampla diversidade faunística e florística e o conhecimento da sua estrutura horizontal e vertical, por meio da dinâmica, em diferentes intervalos de tempo permitem a predição quanto suas características e desenvolvimento. Assim, o estudo objetivou a obtenção das taxas de dinâmica entre três períodos de mensuração, para três fragmentos em Minas Gerais e avaliar as mudanças ocorridas na estrutura e composição da formação vegetal. Foram alocadas parcelas retangulares de tamanho fixo, em que se mensurou todos os indivíduos arbóreos vivos com diâmetro à 1,30 metros do solo (DAP) ≥ 5 cm e suas respectivas alturas. Realizou-se o estudo da dinâmica das áreas, bem como estrutura diamétrica e análise de correspondência destendenciada (DCA). Quanto ao desenvolvimento da vegetação, o número de recrutas, em todos os períodos e áreas mensuradas, foi superior ao número de mortas. Em se tratando da área basal, houve uma variação entre 3,67 a 13,07 m².ha⁻¹. Ainda sobre o comportamento do desenvolvimento e crescimento das áreas de estudo, pode-se inferir que os fragmentos e os respectivos anos de mensuração apresentaram o padrão de j-inverso. Por meio da DCA, os autovalores permitem prever que há uma maior heterogeneidade para os fragmentos I e III quando comparados com o fragmento II, apresentando assim uma maior substituição de espécies ao longo do primeiro eixo. Mediante as análises realizadas, conclui-se que os três fragmentos mantiveram um desenvolvimento e crescimento significativo.

Palavras-chave: Dinâmica. Vegetação arbórea. Recrutamento.

STRUCTURAL AND FLORISTIC CHANGES IN FRAGMENTS OF TWO TYPES OF CERRADO PHYTOPHYSIOGNOMIES

ABSTRACT

The Cerrado has a wide diversity of fauna and flora and the knowledge of the horizontal and vertical structure of a vegetation through the dynamics, at different time intervals allow the prediction of their characteristics and development. Thus, the study aimed to obtain the rates of dynamics between three measurement periods for three fragments in Minas Gerais and to evaluate the changes occurred in the structure and composition of the vegetation. Rectangular plots were sampled in which all living arboreal individuals with a diameter of 1.30 m (DBH) ≥ 5 cm and their respective heights were measured. The study of the dynamics of the areas, as well as diametric structure and extended correspondence analysis (DCA) was carried out. Analyzing the vegetation growth, the number of recruits, in all periods and areas measured, was higher than the number of deaths. The basal area had a variation between 3.67 and 13.07 m².ha⁻¹. Also, looking into the development and growth of the study areas, it can be inferred that the fragments and their respective years of measurement had the j-inverse distribution. By the DCA, the eigenvalues allow to predict that there is a greater heterogeneity for the fragments I

and III when compared with the fragment II, thus presenting a greater substitution of species along the first axis. Based on the analyzes, it was concluded that the three fragments maintained a significant growth and development.

Keywords: Dynamic. Woody vegetation. Recruitment.

1. INTRODUÇÃO

As florestas nativas possuem uma ampla diversidade faunística e florística, além disso, desempenham importantes funções ecológicas, hidrológicas e oferecem subsídios para as comunidades que habitam em seu entorno. Assim, os recursos naturais dispõem de uma grande importância ambiental, bem como social e econômica, prestando serviços ecossistêmicos indispensáveis ao homem e ao meio ambiente (PEREIRA et al., 2012).

Dentre as formações vegetais de grande relevância, o Cerrado se destaca por ser considerado como o segundo maior domínio brasileiro, atrás apenas da Floresta Amazônica, com uma extensão de aproximadamente 2 milhões de km². Além disso, o domínio é classificado como um dos *hotspots* mundiais para conservação, devido a biodiversidade que abriga e constantes ameaças sofridas. Ressalta-se que esta vegetação apresenta uma infinita quantidade de espécies animais e vegetais, muitas destas endêmicas (FERREIRA et al., 2016; GOULART; PASSOUS; NUCCI, 2015; MYERS et al., 2000; SILVA NETO et al., 2016).

Em virtude das intensas atividades antrópicas empreendidas sem a devida precaução, isto é, a exploração de forma desordenada dos recursos naturais, o Cerrado se encontra entre os domínios vegetacionais mais ameaçados. Diversas atividades agrícolas e florestais são desenvolvidas ocasionando uma maior degradação desses ambientes, provocando, por exemplo, consequências tão negativas, como a supressão de espécies endêmicas, aumento de espécies ameaçadas e conseqüentemente o agravamento das mudanças climáticas (PEREIRA et al., 2012).

O conhecimento da estrutura horizontal e vertical de uma formação vegetal em diferentes intervalos de tempo permitem a predição quanto suas características e desenvolvimento, ou seja, a avaliação dos processos ecológicos ocorrentes na vegetação, assim como instabilidades na composição e estrutura são relevantes para o conhecimento da dinâmica da vegetação. Desta forma, a dinâmica da comunidade arbórea dos fragmentos naturais é embasada na flutuação da composição e estrutura, tanto na escala temporal quanto espacial (MEYER et al., 2015).

O estudo de dinâmica da vegetação arbórea permite inferir quanto as interações da comunidade relacionados à manutenção da riqueza, assim como caracterização da diversidade existente. Além disso, o conhecimento das mudanças florísticas e estruturais ao longo do tempo fornece informações que subsidiam tomadas de decisão relacionadas com a restauração de ecossistemas e emprego do manejo florestal (BRAGA; REZENDE, 2007).

Considerando a formação vegetal de interesse, o Cerrado, destacam-se estudos quanto a dinâmica da comunidade arbórea em Brasília – DF (ALMEIDA et al., 2014), Duaré-TO (SILVA NETO et al., 2016), Nova Xavantina-MT (GOMES et al., 2016). Os estudos enfatizam a importância que estes possuem em auxiliar na elaboração de estratégias de preservação e conservação das áreas, pois há um melhor entendimento quanto ao comportamento da vegetação (SILVA NETO et al., 2017).

Para compreender as flutuações florísticas e a dinâmica da vegetação no decorrer do tempo, as taxas de mortalidade, crescimento e recrutamento são utilizadas, sendo estas determinantes para entender o comportamento das espécies e estrutura da comunidade. Nesse contexto, a dinâmica da comunidade arbórea está atrelada com a estabilidade da formação vegetal (MEYER et al., 2015). Dessa forma, este estudo tem como objetivo a obtenção das taxas de dinâmica entre três períodos de mensuração para três fragmentos em Minas Gerais, dois destes situados no cerrado *sensu stricto* e um no campo cerrado, bem como avaliar as mudanças ocorridas na estrutura e composição da formação vegetal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Os dados deste estudo são provenientes de três fragmentos florestais, situados ao longo das Bacia do rio São Francisco e Vale do Jequitinhonha em Minas Gerais. O fragmento I, que possui uma área de 236,85 hectares e vegetação predominante de campo cerrado, se encontra localizado no município de Brasilândia de Minas sob as coordenadas geográficas 45°51'30,12"O e 16°56'33,84"S. Esta região é caracterizada por possuir uma precipitação média anual de 1285,92 mm, temperatura média de 22,95°C e altitude média de 578 m, sendo o solo classificado como Latossolo (SCOLFORO; MELLO; OLIVEIRA, 2008) (FIGURA 1A).

Na região de Olhos d'Água, o fragmento II está sob a longitude 43°47'55,40"O e latitude 17°20'39,23"S. Abrangendo uma área de 111,90 hectares, em que a altitude média é de 855 m

e solo classificado como Latossolo, há um predomínio da formação de cerrado *sensu stricto*, em estágio de regeneração avançado. A temperatura média anual é de 20,91°C e precipitação média anual de 1187,21 mm (SCOLFORO; MELLO; OLIVEIRA, 2008) (FIGURA 1B).

Por fim, o fragmento III localizado em Corinto (44°21'10,21"O e 18° 27'55,63"S) e também com predomínio da fitofisionomia cerrado *sensu stricto* possui uma área de 178,11 hectares, com poucos indícios de antropização. A altitude média é de 643 m e solo classificado como Cambissolo. A temperatura média da região é aproximadamente de 21,48°C, em que a precipitação média anual é 1312,12 mm. Neste fragmento, ressalta-se a presença de uma vereda e curso d'água com trechos perenes e outros intermitentes (SCOLFORO; MELLO; OLIVEIRA, 2008) (FIGURA 1C).

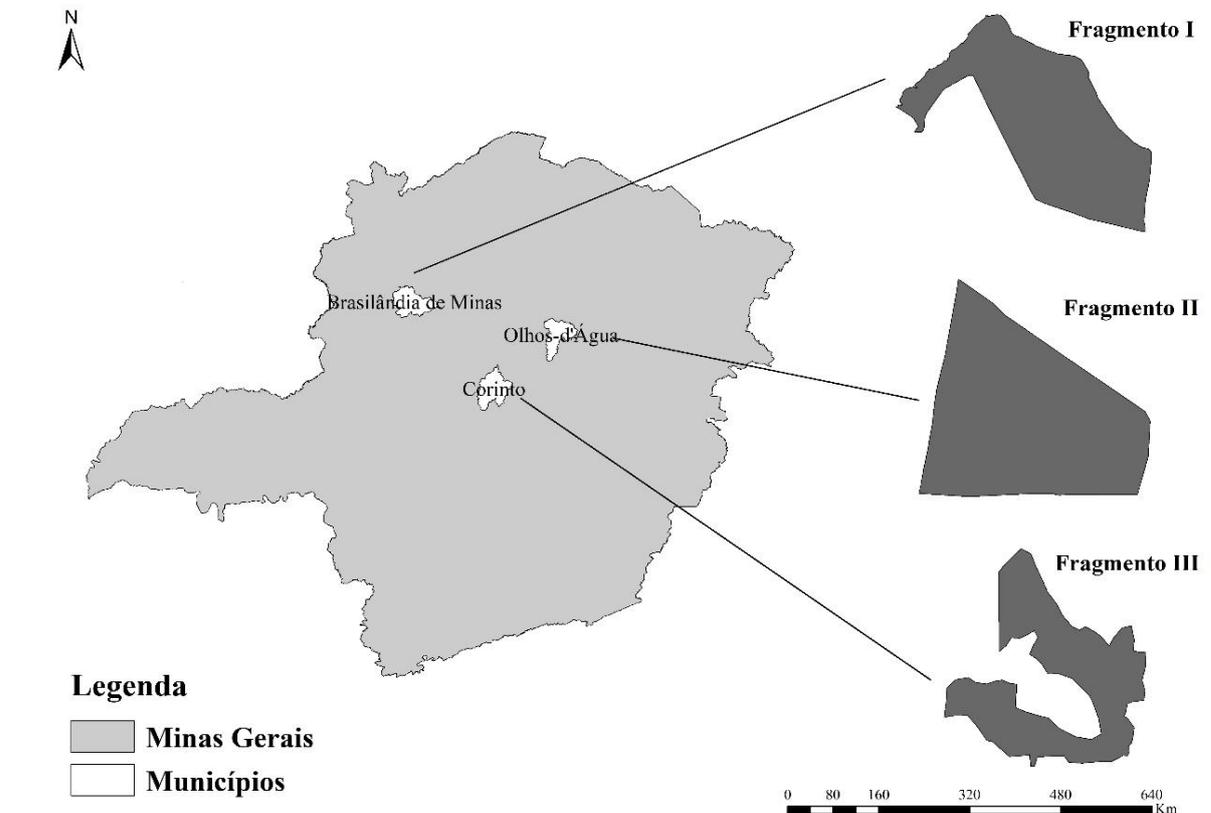


FIGURA 1 – Áreas de estudo localizadas no estado de Minas Gerais, Brasil. A) Fragmento I com vegetação característica de campo cerrado situado no município de Brasilândia de Minas;

- B) Fragmento II com vegetação de cerrado *sensu stricto* localizado no município de Corinto;
- C) Fragmento III com vegetação de cerrado *sensu stricto* situado no município de Olhos d'Água.

2.2 Base de dados

Para todos os fragmentos, os dados foram coletados mediante o lançamento de parcelas retangulares de área fixa, por meio da amostragem sistemática (SILVA NETO et al., 2017). Para o fragmento I, o inventário florestal foi realizado com a alocação de 40 unidades amostrais com dimensões de 10 x 100 m (1000 m²), totalizando quatro hectares. A primeira medição ocorreu no ano de 2003 e todas as parcelas foram remedidas posteriormente nos anos de 2010 e 2014.

No fragmento II foram lançadas 11 parcelas de 10 x 100 m (1000 m²) no ano de 2003 e mais 13 unidades amostrais com as mesmas dimensões no ano de 2005, totalizando 2,4 hectares. Assim, no ano de 2005 foram quantificadas 24 parcelas, em que 11 foram remedidas e 13 tiveram sua primeira medição. Em 2010 todas as unidades amostrais foram mensuradas.

Por fim, em relação ao fragmento III, foram alocadas 11 parcelas com dimensões de 10 x 100 m (1000 m²) no ano de 2002, e para as futuras medições foram lançadas mais 9 unidades amostrais. Nesse sentido, no primeiro ano foi realizada a medição de 11 parcelas e posteriormente, no ano 2005, foram lançadas mais 9 parcelas, totalizando 20 unidades amostrais inventariadas. Para o ano de 2013, todas as parcelas foram remedidas.

O método de inclusão utilizado para os três fragmentos foi a mensuração de todos os indivíduos arbóreos vivos com diâmetro à 1,30 metros do solo (DAP) ≥ 5 cm e na mesma ocasião, mensurou-se a altura total (MORO; MARTINS, 2011). Assim também, realizou-se a identificação botânica de todos os indivíduos mensurados, bem como a quantificação dos indivíduos mortos e recrutados, ou seja, aqueles que atingiram o diâmetro mínimo para inclusão em cada período inventariado.

Ademais, as parcelas foram georreferenciadas e todas as árvores mensuradas foram identificadas com plaqueta de alumínio contendo o número da planta e da parcela. Ressalta-se que a plaqueta foi fixada na altura no DAP a fim de garantir a remedição do indivíduo na mesma altura em todas as mensurações.

2.3 Análise de Dados

2.3.1 Estudo de dinâmica e diversidade da comunidade arbórea

A partir dos dados obtidos nos inventários realizados avaliou-se a variação da comunidade arbórea ao longo dos anos para cada um dos fragmentos. As variáveis consideradas foram a mortalidade (M), recrutamento (R), perda e ganho em área basal, assim como a rotatividade da floresta (*turnover*) em número de árvores (T_N) e área basal (T_{AB}), sendo calculados com base no número de indivíduos amostrados nos períodos supracitados.

Os modelos empreendidos para determinação dos parâmetros mortalidade, recrutamento, perda e ganho foram propostos por Sheil & May (1996), sendo estes:

$$M = \{1 - [(N_0 - m) / N_0]^{1/t}\} \times 100$$

$$R = [1 - (1 - r/N_t)^{1/t}] \times 100$$

$$P = \{1 - [(AB_0 - AB_m + AB_d) / AB_0]^{1/t}\} \times 100$$

$$G = \{1 - [1 - (AB_r + AB_g) / AB_t]^{1/t}\} \times 100$$

Para a quantificação da rotatividade em número de indivíduos e em área basal, empregou-se os modelos propostos por Oliveira-Filho, Mello e Scolforo (1997):

$$T_N = ((M + R) / 2)$$

$$T_{AB} = ((P + G) / 2)$$

Por fim, determinou-se as taxas de mudança líquida em número de indivíduos e em área basal (KORNING; BALSLEV, 1994).

$$ChN = [(N_t / N_0)^{1/t} - 1] \times 100$$

$$ChAB = [(AB_t / AB_0)^{1/t} - 1] \times 100$$

Em que:

AB_0 : Área basal inicial das árvores ($m^2 \cdot ha^{-1}$)

AB_d : Decremento em área basal das árvores mortas ($m^2 \cdot ha^{-1}$)

AB_g : Incremento em área basal das árvores sobreviventes ($m^2 \cdot ha^{-1}$)

AB_m : Área basal inicial das árvores mortas ($m^2 \cdot ha^{-1}$)

- AB_r: Área basal inicial das árvores recrutadas (m².ha⁻¹)
- AB_t: Área basal final das árvores (m².ha⁻¹)
- ChAB: Mudança líquida em área basal (%)
- ChN: Mudança líquida em número de indivíduos (%)
- G: Ganho de área basal (%)
- M: Taxa anual média de mortalidade (%)
- m: Número de árvores mortas
- N₀: Contagem inicial das árvores individuais no período avaliado
- N_t: Contagem final das árvores individuais no período avaliado
- P: Perda de área basal (%)
- R: Taxa anual média de recrutamento (%)
- r: Número de árvores recrutadas
- t: Tempo decorrido entre os inventários (anos)
- T_{AB}: Rotatividade em área basal (*turnover*) (%.ano⁻¹)
- T_N: Rotatividade em número de árvores (*turnover*) (%.ano⁻¹)

O processamento da dinâmica da comunidade arbórea, para obtenção das taxas de crescimento, mortalidade e recrutamento, foi realizado mediante o software R (R CORE TEAM, 2017) por meio da função `forest.din` (HIGUCHI, 2018). A avaliação da dinâmica arbórea levou em consideração todas as parcelas amostradas, em que se deve salientar a diferença existente no número de unidades amostrais entre os períodos avaliados para os fragmentos II e III.

Em uma segunda ocasião, para efeito de comparação por meio do teste t pareado, calculou-se a dinâmica com as parcelas iniciais em todos os intervalos dentro de cada fragmento avaliado. A saber, para o fragmento II e III considerou-se as 11 parcelas mensuradas desde a primeira medição. O teste t pareado tem como objetivo verificar a existência de diferença significativa entre médias das variáveis de interesse (RIBEIRO et al., 2012; ZAR, 2010). Para este estudo analisou-se a diferença estatística entre os períodos para cada fragmento das taxas de mortalidade, recrutamento, perda, ganho, mudança líquida e rotatividade em número de indivíduos e área basal.

Por fim, a diversidade das espécies, para cada fragmento e ano de mensuração, foi calculada pelo índice de Shannon-Wiener (H') que leva em consideração a transformação

logarítmica da densidade das espécies. E, para a caracterização da uniformidade da comunidade empreendeu-se o cálculo da equabilidade de Pielou (J) (MAGURRAN, 2011).

2.3.2 Estrutura diamétrica

Com o intuito de avaliar a distribuição por classe de diâmetro dos indivíduos ao longo do tempo nos fragmentos inventariados, realizou-se a análise da estrutura diamétrica. Para tanto, foram elaborados histogramas de frequência do número de indivíduos em função do centro de classe diamétrica, em que se considerou uma amplitude de 5 cm, para todos os fragmentos e anos de mensuração. Os gráficos foram gerados a partir do programa MS – Excel (Microsoft, 2016) (IMANÑA-ENCINAS et al., 2008; SILVA; SOUZA, 2016).

A fim de verificar a existência de diferença estatística entre as frequências observadas de indivíduos para os intervalos de medição em cada fragmento, empregou-se o teste de Wilcoxon-pareado, teste não paramétrico, por meio da ferramenta *Action Stat* no Excel. Sendo este direcionado para análise de amostras relacionadas (BEZERRA et al., 2018).

2.3.3 Análise de Correspondência Destendenciada (DCA)

Visando avaliar a substituição das espécies ao longo do gradiente realizou-se a análise de correspondência destendenciada (DCA), que é considerada uma medida de heterogeneidade, para cada intervalo de mensuração. Assim, os dados de cada fragmento foram separados em matrizes de densidade por parcela para cada ano (CARVALHO; FELFILI, 2011), levando em consideração o número de indivíduos. O processamento das análises para os intervalos foi por meio do software PAST (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando todos os inventários realizados, foram quantificadas para o fragmento I 40 famílias, 75 gêneros e 99 espécies. Dentre as famílias estudadas, a mais representativa em número de indivíduos para a área foi a Fabaceae, seguida das famílias Myrtaceae, Malphighiaceae e Vochysiaceae. Para o fragmento II, foram identificadas 34 famílias, 65 gêneros e 89 espécies. As famílias com maiores números de indivíduos são Fabaceae, Sapotaceae, Myrtaceae e Malvaceae. Em relação ao fragmento III, foram encontradas 39

famílias, 88 gêneros, 121 espécies. A ordem de maior representatividade das famílias em número de indivíduos foram Vochysiaceae, Fabaceae, Lythraceae e Annonaceae.

As famílias mais expressivas nos fragmentos avaliados corroboram com o esperado para as formações do Cerrado (GIÁCOMO et al., 2013; MEWS et al., 2011; RIOS; SOUSA-SILVA; MALAQUIAS, 2018). Visto que, em estudo conduzido em uma área de cerrado *sensu stricto*, Marmontel, Delgado e Santos (2014) destacam a família Fabaceae como a de maior representatividade a nível de abundância. Assim também, Almeida et al. (2014), avaliando as mudanças florísticas e estruturais em um período de 27 anos para a mesma vegetação, detectaram a Fabaceae e Vochysiaceae entre as famílias mais representativas em número de espécies. Por conseguinte, fica evidenciada a característica cosmopolita da família Fabaceae, ou seja, por possuir uma grande quantidade de gêneros e espécies, esta pode ser encontrada em diversas formações (FLORES; RODRIGUES, 2010).

Por meio dos resultados encontrados no processamento da dinâmica da comunidade arbórea é possível inferir que houve um aumento no número de espécies quando comparado os intervalos de mensuração em um mesmo fragmento. A destacar, o fragmento I foi o único que sofreu perda de espécie no segundo intervalo passando de 96 para 95. O aumento em número de espécies para os fragmentos II e III está associado com o acréscimo de unidades amostrais no segundo período de mensuração. No entanto, para o período de 2005-2013 no fragmento III, houve uma estabilização no número de espécies. Os resultados encontrados a nível de espécies se sobressaem quando confrontados com outros estudos. Contudo, os valores encontrados estão dentro do intervalo esperado para as formações (ALMEIDA et al., 2014; GIÁCOMO et al., 2013) (TABELA 1).

TABELA 1 - Parâmetros da dinâmica da comunidade arbórea para os fragmentos I, II e III em seus respectivos intervalos de medição. Em que: n é o número de parcelas amostradas; N: número de árvores; AB: área basal; TX. M: taxa de mortalidade; TX. R: taxa de recrutamento; Ch. N: taxa de mudança líquida em número de indivíduos; TURN. N: taxa de rotatividade em número de indivíduos; AB_D: decremento em área basal; AB_g: Incremento em área basal; TX: taxa; Ch. AB: taxa de mudança líquida em área basal; TURN. AB: rotatividade em área basal.

Fitofisionomia	Fragmentos					
	Fragmento I		Fragmento II		Fragmento III	
	Campo cerrado		Cerrado <i>sensu stricto</i>		Cerrado <i>sensu stricto</i>	
Intervalo	2003-2010	2010-2014	2003-2005	2005-2010	2002-2005	2005-2013
n	40	40	11	24	11	20

Taxas por número de indivíduos						
N.ha⁻¹ no ano I	410	564	1425	1446	1059	1249
N.ha⁻¹ no ano II	564	652	1540	1617	1245	1476
Espécies no ano I	89	96	72	85	80	126
Espécies no ano II	96	95	76	90	90	126
Sobreviventes/ha	382	526	1419	1413	1035	1147
Mortas/ha	28	38	6	33	24	102
Recrutas/ha	182	125	121	206	210	329
Ganho Líquido	154	88	115	172	186	227
TX. M (% ano⁻¹)	1.02	1.7	0.22	0.47	0.75	1.05
TX. R (% ano⁻¹)	5.42	5.2	4.01	2.67	5.97	3.1
Ch. N (% ano⁻¹)	4.65	3.69	3.94	2.26	5.55	2.11
TURN. N (% ano⁻¹)	3.22	3.45	2.11	1.57	3.36	2.08
Taxa por área basal						
AB (m².ha⁻¹) no ano I	3.67	4.93	9.61	10.37	7.96	10.77
AB (m².ha⁻¹) no ano II	4.93	5.71	10.86	12.33	10.67	13.07
Mortas (m².ha⁻¹)	0.1613	0.2384	0.0206	0.1745	0.0954	0.7236
Recrutas (m².ha⁻¹)	0.5271	0.3375	0.3008	0.5970	1.7244	1.1047
AB_D (m².ha⁻¹)	-0.0391	-0.0549	-0.0477	-0.1010	-0.3297	-0.3515
AB_g (m².ha⁻¹)	0.9276	0.7355	1.0188	1.6307	1.4061	2.2712
TX perda (% ano⁻¹)	0.80	1.52	0.36	0.54	1.81	1.31
TX ganho (% ano⁻¹)	4.88	5.08	6.27	3.91	10.93	3.67
Ch. AB (% ano⁻¹)	4.29	3.74	6.31	3.51	10.24	2.45
TURN. AB (% ano⁻¹)	2.84	3.30	3.31	2.22	6.37	2.49

Cabe ressaltar, que para todos os fragmentos avaliados, considerando os intervalos de medição, houve um acréscimo no número de indivíduos e este variou de 410 a 1617 indivíduos por hectare. Cabe ressaltar que o fragmento III, com vegetação característica de cerrado *sensu stricto*, foi aquele que houve maior incremento.

Em relação ao desenvolvimento da vegetação, o número de recrutas, em todos os períodos e áreas mensuradas, foi superior ao número de mortas. Este resultado permite prever quanto ao contínuo crescimento da vegetação. Em decorrência de tais fatores, a taxa de recrutamento se sobressaiu em relação a taxa de mortalidade em todas as áreas, nos respectivos intervalos de tempo. Ressalta-se que para o fragmento II no período de 2003 a 2005, houve apenas seis indivíduos mortos por hectare, ainda que se considere o curto período entre as medições. Ademais, quando comparado com as outras áreas, o fragmento III obteve maior

incremento, ocasionando em um ganho líquido de 227 indivíduos, sendo este um resultado da morte de 102 e recrutamento de 329 indivíduos.

Devido as idiosincrasias do Cerrado, naturalmente tende a ocorrer uma baixa mortalidade ao longo do tempo quando comparado com outras formações. Neste contexto, tal fato pode ser atribuído a relação existente com as características edafoclimáticas, estabelecendo assim que a vegetação estabeleça estratégias de adaptação para a manutenção dos indivíduos. A exemplo, em área de cerrado *sensu stricto*, Mews et al. (2011) constataram uma mortalidade média anual de 4,01% ano⁻¹ e um recrutamento de 6,67% ano⁻¹. Para o presente estudo, considerando todos os fragmentos e intervalos de mensuração, a taxa de mortalidade variou entre 0,22 e 1,7% e a taxa de recrutamento de 2,67 a 5,97%. Estes fatores têm como consequência o crescimento e desenvolvimento da vegetação conforme o que é esperado para a fitofisionomia em estudo e possível estado de conservação da área.

Em se tratando da área basal, houve uma variação entre 3,67 a 13,07 m².ha⁻¹, constatando um aumento progressivo para todos os períodos de medições em cada fragmento. Para o fragmento III, comparado aos demais, nota-se um aumento dessa variável. Tal resultado pode estar atrelado ao fato que as áreas apresentam pouca intervenção humana bem como maior disponibilidade hídrica. Em relação ao fragmento I, que possui vegetação predominante de campo cerrado, este não exibiu grandes variações quanto a área basal, pois esta fitofisionomia se caracteriza por apresentar indivíduos esparsos entre si. Ademais, o intervalo obtido se encontra dentro do esperado para formações do Cerrado, assim como constatado em diversos estudos (ALMEIDA et al., 2014; MOURA et al., 2010; RIOS; SOUSA-SILVA; MALAQUIAS, 2018).

A avaliação das taxas de ganho e perda permitem predizer quanto a superioridade, em todos fragmentos e intervalos, no quesito incremento da área basal. Assim também, destaca-se que a taxa de mudança líquida em área basal foi positiva em todas as análises realizadas, isto porque houve um maior recrutamento em relação a mortalidade.

Mediante a análise da dinâmica da comunidade arbórea, para as áreas de campo cerrado e cerrado *sensu stricto* nos respectivos intervalos avaliados neste estudo, os resultados fornecem subsídios que possibilitam inferir a respeito do *status* de conservação dos fragmentos, em que a vegetação resistiu a possíveis ações antrópicas nos períodos avaliados, pois este não apresentou grandes danos para a estrutura da vegetação, visto que comunidade vegetal exibiu um bom desenvolvimento.

Ao realizar o teste t pareado, considerando um mesmo número de unidades amostrais para todos os intervalos dentro do fragmento, é possível inferir que a mortalidade apresentou diferença estatística em todas as áreas avaliadas, assim como a mudança líquida e rotatividade em área basal. Em outras palavras, as taxas supracitadas considerando os dois intervalos de dinâmica em cada fragmento apresentam diferenças, isto é, comportamento distintos entre os períodos de análise. Salienta-se que, a mudança líquida em área basal foi positiva, confirmando assim a significância do recrutamento e crescimento da formação vegetal. Para tanto, cabe discorrer que houve um incremento na área basal em decorrência do acréscimo no número de indivíduos (TABELA 2).

TABELA 2 - Teste t pareado para as taxas de dinâmica da comunidade arbórea nos três fragmentos de Cerrado. Em que: N é o número de indivíduos; AB: área basal; M: Mortalidade; R: Recrutamento; ChN: Mudança líquida em número de indivíduos; TN: Taxa de rotatividade em número de indivíduos; P: Perda ou decremento; G: Ganho ou incremento; ChAb: Mudança líquida em área basal; TAB: Taxa de rotatividade em área basal.

Parâmetro	P-value - Fragmentos			
	Taxas	Fragmento I	Fragmento II	Fragmento III
N	M	8.32E-04*	1.01E-02*	4.76E-02*
	R	1.49E-01	1.17E-02*	1.24E-01
	ChN	5.28E-03*	5.19E-03*	8.89E-02
	TN	2.18E-01	3.15E-02*	1.75E-01
AB	P	9.06E-04*	9.11E-02	4.85E-01
	G	2.89E-01	9.58E-06*	1.53E-02*
	ChAB	1.42E-02*	3.04E-05*	2.97E-02*
	TAB	4.87E-03*	1.72E-05*	1.30E-02*

* : Significativo a 5%.

Em relação a diversidade florística que foi estimada por meio do índice de Shannon-Wiener (H') considerando todos os fragmentos, bem como os respectivos anos de mensuração, esta variou entre 3,43 e 3,87 nats.ind^{-1} . Os valores encontrados corroboram com o intervalo apresentado em outros estudos de cerrado *sensu stricto* (AQUINO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015; ROCHA et al., 2014; SILVA; SOUZA, 2016; SILVA NETO et al., 2016). A se destacar, o fragmento I com vegetação característica de campo cerrado apresentou uma diversidade de 3,70 nats.ind^{-1} para os dois primeiros anos de mensuração e de 3,67 nats.ind^{-1} para o último ano. No entanto, Corsini et al. (2014) em estudo sobre diversidade e similaridade

de fragmentos florestais nativos em Minas Gerais, encontraram um valor médio de 2,978 nats.ind⁻¹ para a fitofisionomia campo cerrado. Assim, pode-se inferir que estes resultados são representativos para a vegetação em estudo indicando uma diversidade relevante (AQUINO et al., 2014).

Para a equabilidade de Pielou, os resultados encontrados apresentaram um intervalo de 0,77 a 0,82. Tais valores permitem inferir quanto a heterogeneidade da formação vegetal, sendo assim avaliada como relativamente alta (TABELA 3).

TABELA 3. Parâmetros de diversidade de Shannon e equabilidade de Pielou para os fragmentos avaliados e seus respectivos anos de mensuração. Em que: H' é a diversidade de Shannon; J é a equabilidade de Pielou.

	Fragmentos								
	I			II			III		
Ano	2003	2010	2014	2003	2005	2010	2002	2005	2013
H' (nats.ind ⁻¹)	3,70	3,70	3,67	3,50	3,47	3,49	3,43	3,84	3,87
J	0,82	0,81	0,81	0,82	0,78	0,77	0,78	0,79	0,80

Ainda sobre o comportamento do desenvolvimento e crescimento das áreas de estudo, pode-se inferir que os fragmentos e os respectivos anos de mensuração apresentaram o padrão de j-inverso ou exponencial negativa, comportamento esperado para as formações naturais (SILVA NETO et al., 2016). Estes resultados implicam em um maior número de indivíduos concentrados nas menores classes de diâmetro (FIGURA 2), assim como permitem depreender quanto ao equilíbrio existente entre a mortalidade e recrutamento, pois a alta concentração de árvores nas primeiras classes indica a introdução de novos indivíduos (SILVA; SOUZA, 2016). Assim, a primeira classe de diâmetro, em cada período inventariado, apresentou uma média de aproximadamente 64% dos indivíduos para o fragmento I, 67% para o fragmento II e 62% para o fragmento III. No entanto, a estrutura da fitofisionomia Cerrado pode sofrer influências em decorrência de fatores como conservação e fogo. A exemplo, Almeida et al. (2014) relatam alterações quanto a densidade de indivíduos em decorrência de quatro eventos de fogo que ocorreram em uma área de cerrado *sensu stricto* avaliada durante um período de 27 anos.

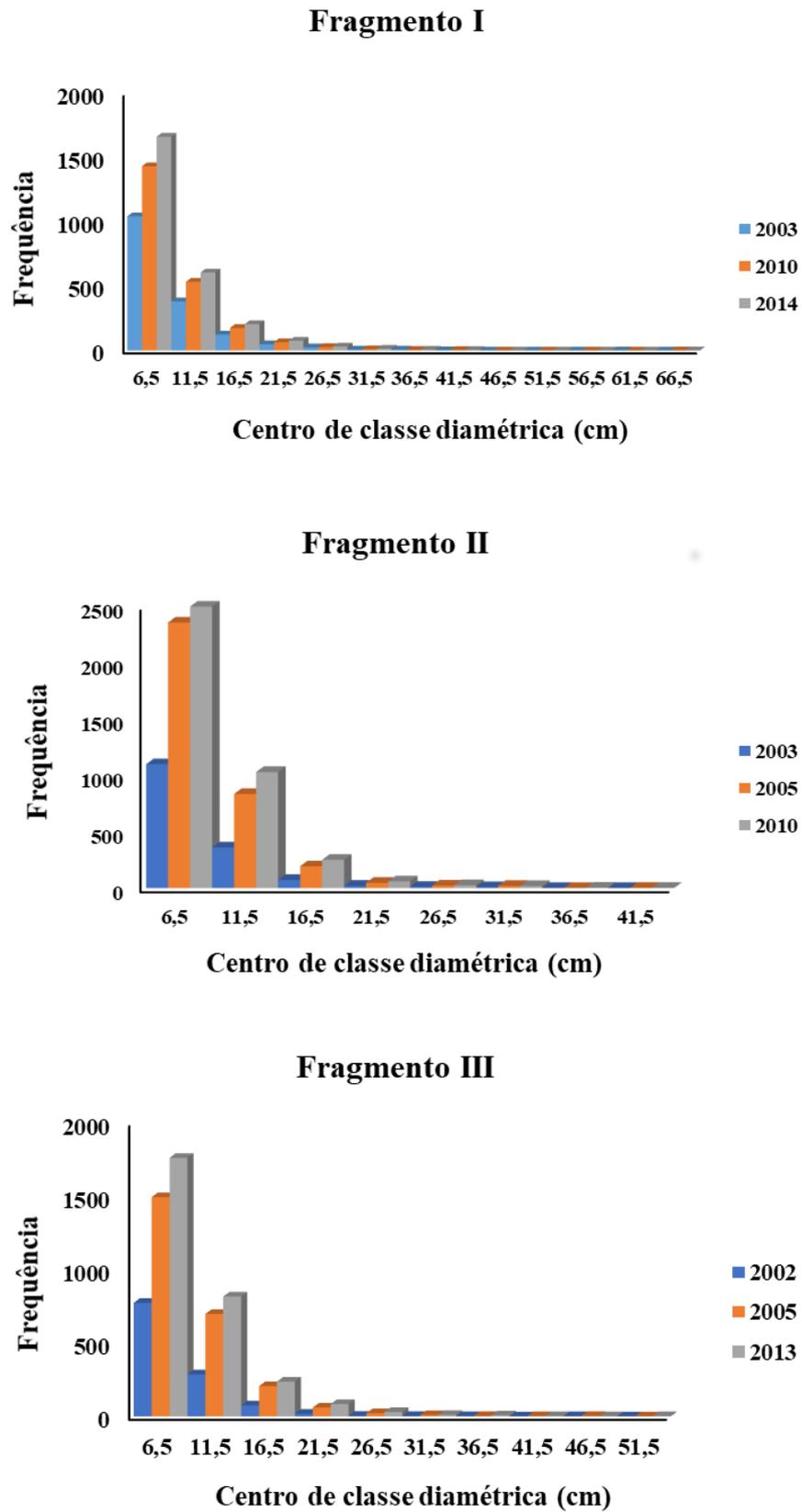


FIGURA 2 - Distribuição de frequência das classes de diâmetros de todos os indivíduos mensurados para cada fragmento e seus respectivos intervalos.

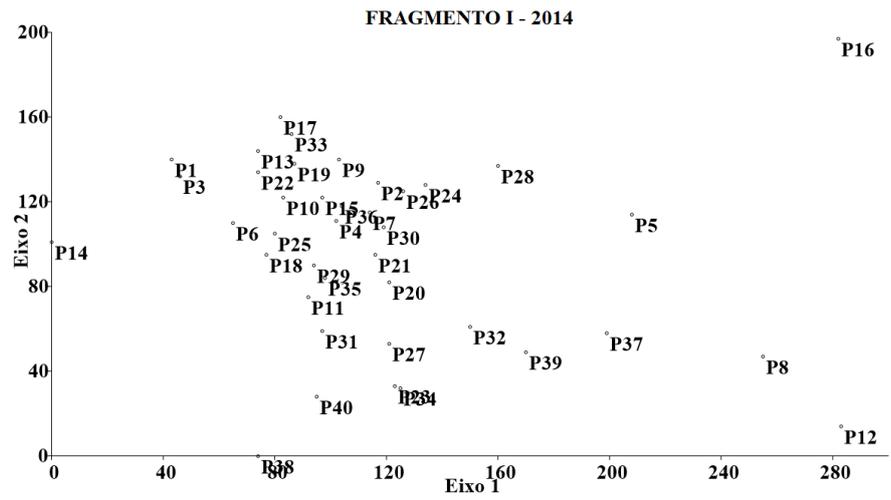
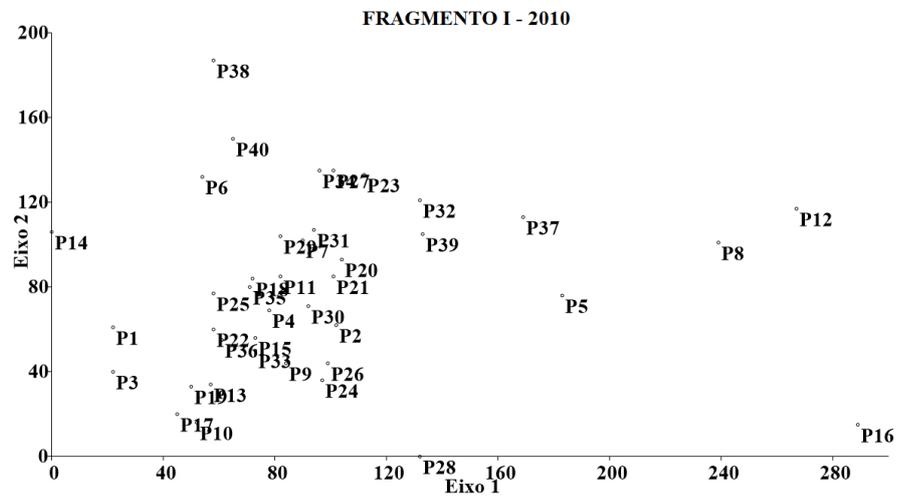
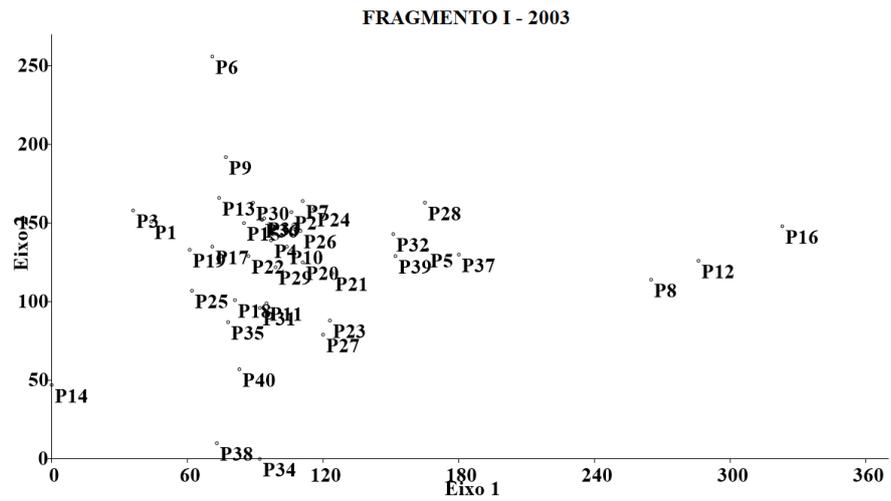
A se destacar, dentro de cada fragmento, a distribuição diamétrica apresentou um comportamento semelhante entre os intervalos de medição, isto é, em cada ano inventariado há uma maior concentração dos indivíduos nas primeiras classes. No entanto, por meio do teste de Wilcoxon-pareado é possível verificar a existência de diferença estatística significativa entre as frequências observadas em cada intervalo para todos os fragmentos (TABELA 4). Tal resultado confirma o crescimento da vegetação nos períodos analisados como verificado pela dinâmica da comunidade arbórea.

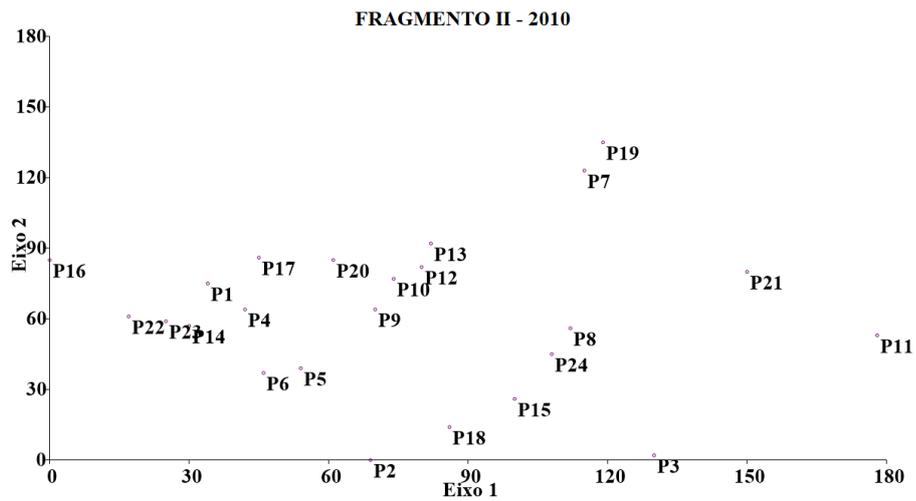
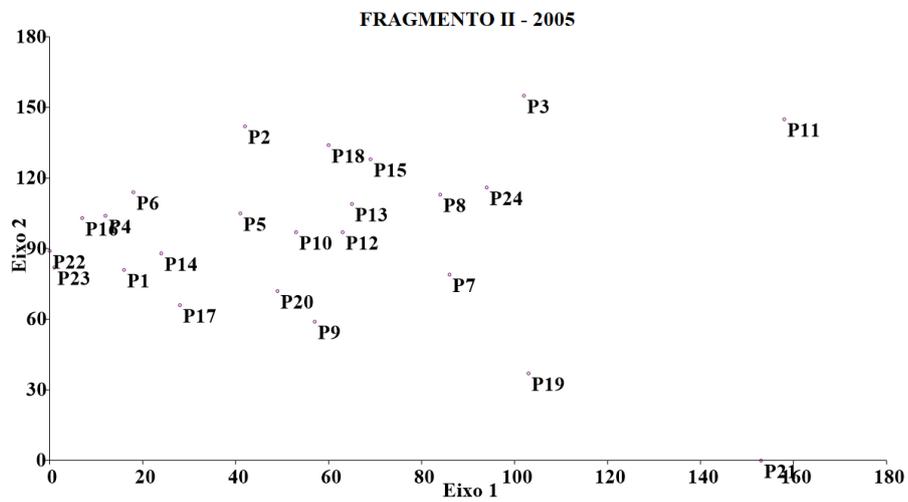
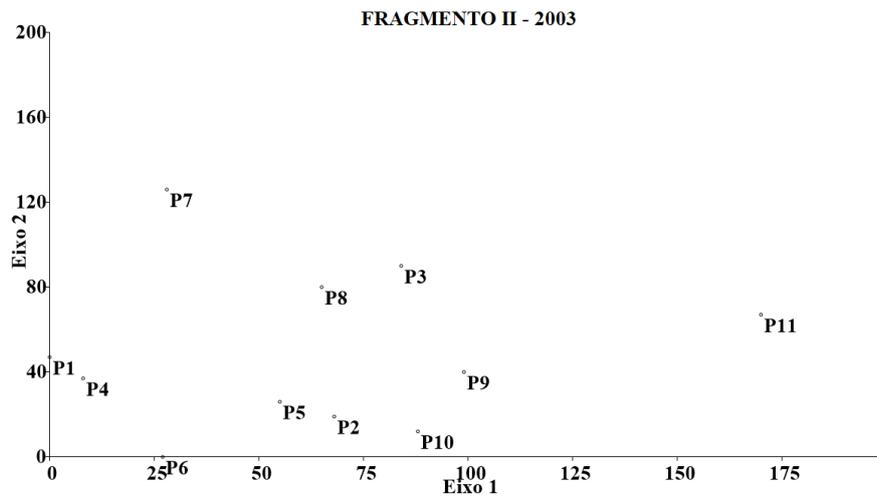
TABELA 4 - Teste de Wilcoxon-pareado para os respectivos intervalos de medição em todos os fragmentos avaliados.

Fragmento	Intervalo	p-value
I	2003-2010	0,0279*
	2010-2014	0,0223*
II	2003-2005	0,0141*
	2005-2010	0,0346*
III	2002-2005	0,0091*
	2005-2013	0,0208*

*: Significativo para $p < 0.05$

A análise de gradiente, por meio da DCA, permite prever sobre o comportamento da comunidade vegetal, isto é, faz-se possível verificar a heterogeneidade e as alterações ocorrentes quanto a distribuição das espécies pelas unidades amostrais e a possível influência de um gradiente ambiental. Em outras palavras, a DCA avalia o quanto um gradiente influencia na substituição e ou reposição de espécies ao longo do tempo nas parcelas (MOTA et al., 2014) (FIGURA 3).





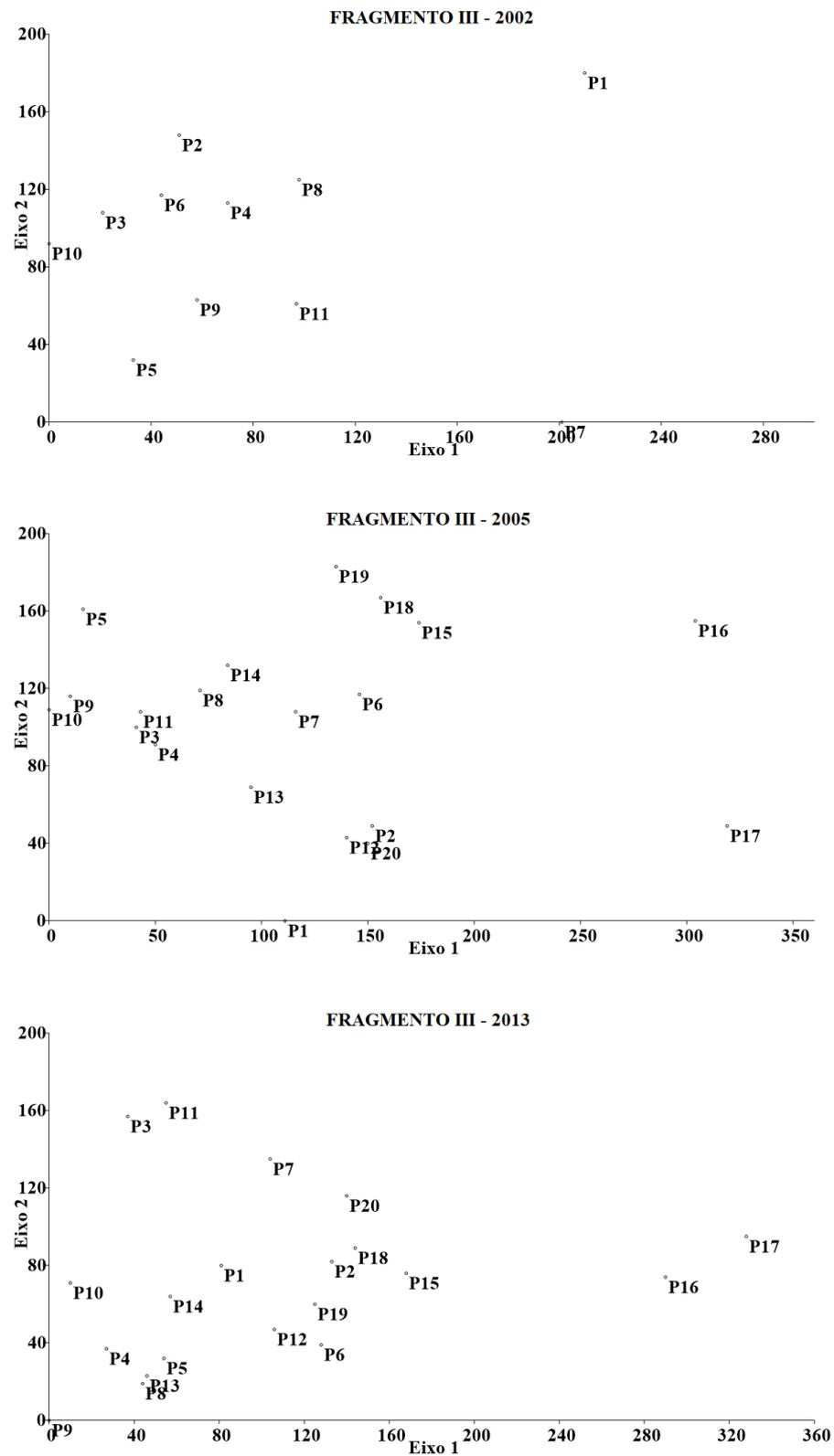


FIGURA 3 - Diagrama de ordenação decorrente da análise de correspondência destendenciada (DCA) para os três fragmentos e seus respectivos anos de mensuração avaliados.

O autovalor, que indica a distância de um eixo, para o eixo I representa o gradiente mais marcante no fragmento, ou seja, assinala a característica que mais está influenciando na reposição de espécies. Assim, quanto menor for o eixo mais próximas serão as unidades amostrais, bem como serão mais semelhantes entre si.

Os fragmentos I e III obtiveram autovalores superiores quando comparados com o fragmento II. Ponderando o conceito de autovalor significativo maior que 0,3 proposto por Felfili et al. (2011), assim também, estes fragmentos e respectivos anos de mensuração apresentaram autovalores significativos no eixo I.

Ao analisar os resultados obtidos da DCA, os autovalores permitem predizer que há uma maior heterogeneidade para os fragmentos I e III quando comparados com o fragmento II, apresentando assim uma maior substituição de espécies ao longo do primeiro eixo. Em relação ao fragmento II, pode-se dizer que ocorre o oposto, uma menor heterogeneidade relativa, ou seja, procede-se uma menor substituição de espécies.

A heterogeneidade pode estar atrelada a fatores característicos da área como topografia, bordas e posição relativa a um curso d'água. A exemplo, a altitude no fragmento I varia entre 540,44 m e 620,60; fragmento II de 886,05 a 900,19 m e fragmento III de 633,34 a 679,16 m. Vale ressaltar que a variação da altitude dentro do fragmento I é maior do que o variação dos fragmentos II e III.

Na figura 3 é possível observar a distância ou proximidade entre as parcelas e o quanto a altitude pode estar influenciando a heterogeneidade. Por exemplo, no fragmento I, as parcelas um (620,60 m), três (618,46 m) e dez (619,49 m) se encontram próximas e com valores de altitude semelhantes. Já as parcelas 40 (552,13 m) e 16 (582,51 m) se encontram distantes umas das outras.

TABELA 4 - Autovalores da análise de gradiente para os fragmentos de campo cerrado e cerrado *sensu stricto* considerando cada ano de mensuração.

	Fragmento I			Fragmento II			Fragmento III		
	2003	2010	2014	2003	2005	2010	2002	2005	2013
Eixo I	0.47	0.44	0.40	0.23	0.18	0.19	0.41	0.46	0.48
Eixo II	0.22	0.18	0.21	0.12	0.12	0.10	0.18	0.18	0.16

Por meio das análises empreendidas para os fragmentos e respectivos anos de mensuração, constata-se que estas áreas se encontram em um bom estado de conservação, assim

como com um desenvolvimento significativo no sentido de ocorrer uma preservação da vegetação.

4. CONCLUSÃO

Mediante as análises realizadas, conclui-se que os três fragmentos, sendo um de campo cerrado e dois de cerrado *sensu stricto*, mantiveram um desenvolvimento e crescimento representativo. As áreas mantiveram uma riqueza florística, assim como estiveram estruturalmente estáveis ao longo dos intervalos. Ressalta-se que as áreas avaliadas apresentaram um comportamento de J-invertido, isto é, alta concentração de indivíduos na primeira classe. Assim também, a análise de gradiente permitiu inferir que características específicas de um determinado local influenciam na estrutura da vegetação.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal (LEMAF) pela estrutura necessária para o desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. F. et al. Mudanças florísticas e estruturais no cerrado *sensu stricto* ao longo de 27 anos (1985-2012) na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. **Rodriguesia**, v. 65, n. 1, p. 1–19, 2014.
- AQUINO, F. D. G. et al. Composição florística e estrutural de um cerrado sentido restrito na área de proteção de Manancial Mestre D’Armas, Distrito Federal. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 565–575, 2014.
- BEZERRA, T. G. et al. Estrutura e dinâmica de uma área manejada na Floresta Nacional do Tapajós. **Agrossistemas**, v. 10, n. 2, p. 94–112, 2018.
- BRAGA, F. M. S.; REZENDE, A. V. Dinâmica da vegetação arbórea da mata de galeria do Catetinho, Brasília-DF. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 138–148, 2007.
- CARVALHO, F. A.; FELFILI, J. M. Variações temporais na comunidade arbórea de uma floresta decidual sobre afloramentos calcários no Brasil Central: composição, estrutura e diversidade florística. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 1, p. 203–214, 2011.
- CORSINI, C. R. et al. Diversidade e similaridade de fragmentos florestais nativos situados na região nordeste de Minas Gerais. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 1–10, 2014.
- FELFILI, J. M. et al. Análise multivariada: princípios e métodos em estudos de vegetação. In: FELFILI, J. M. et al. (Eds.). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso**. Viçosa: Editora UFV. 2011, cap. 4, p. 122–155.
- FERREIRA, R. Q. S. et al. Uso potencial e síndromes de dispersão das espécies de três áreas de cerrado *sensu stricto*, Tocantins. **Global Science and Technology**, v. 9, n. 3, p. 73–86, 2016.
- FLORES, A. S.; RODRIGUES, R. S. Diversidade de Leguminosae em uma área de savana do estado de Roraima, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, n. 1, p. 175–183, 2010.
- GIÁCOMO, R. G. et al. Florística e fitossociologia em áreas de campo sujo e cerrado *sensu stricto* na estação ecológica de Pirapitinga - MG. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 29–43, 2013.
- GOMES, L. et al. Dynamics of the woody vegetation of two areas of Cerrado *sensu stricto* located on different substrates. **Rodriguesia**, v. 67, n. 4, p. 859–870, 2016.
- GOULART, A. Á.; PASSOUS, E.; NUCCI, J. C. Fragmentação da vegetação de Cerrado, entre os Anos de 1984 e 2011 no Parque Estadual do Cerrado (Jaguariaíva-PR) e em sua Zona de Amortecimento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. 03, p. 857–866, 2015.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A.; RYAN, D. D. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1–9, 2001.
- HIGUCHI, P. **forest.din: Função em linguagem de programação estatística R para determinação da dinâmica de comunidades de espécies arbóreas 2018**. 2018. Disponível em: <<https://github.com/higuchip/forest.din>>. Acesso em: 14 de nov. 2018.
- IMAÑA-ENCINAS, J. et al. Distribuição diamétrica de um trecho da Floresta Estacional Semidecidual na área do Ecomuseu do Cerrado. **Cerne**, v. 14, n. 1, p. 33–45, 2008.
- KORNING, J.; BALSLEV, H. Growth and mortality of trees in Amazonian tropical rain forest in Ecuador. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, n.1, p. 77-86, 1994.

- MAGURRAN, A. E. **Medindo a diversidade biológica**. Editora UFPR, Curitiba: 2011, p. 261.
- MARMONTEL, C. V. F.; DELGADO, L. G. M.; SANTOS, L. J. Fitossociologia e Composição da vegetação arbórea no cerrado *stricto sensu* - Vale do Jequitinhonha. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 13, n. 2, p. 108–116, 2014.
- MEWS, H. A. et al. Dinâmica da comunidade lenhosa de um cerrado típico na região Nordeste do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 73–82, 2011.
- MEYER, P. B. et al. Dinâmica estrutural em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidualifólia em Lavras, MG, Brasil. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 259–265, 2015.
- MORO, M. F.; MARTINS, F. R. Métodos de Levantamento do Componente Arbóreo-Arbustivo. In: FELFILI, J. M. et al. (Eds.). **Fitossociologia na Brasil: métodos e estudos de caso**. 1ª Ed. Viçosa: Editora UFV, v. 1, cap. 6, 2011.
- MOTA, S. da L. L. et al. Influência dos afloramentos rochosos sobre a comunidade lenhosa no cerrado *stricto sensu*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 8–18, 2014.
- MOURA, I. O. de et al. Diversidade e estrutura comunitária de cerrado *sensu stricto* em afloramentos rochosos no parque estadual dos Pireneus, Goiás. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 3, p. 455–467, 2010.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. February, p. 853–858, 2000.
- OLIVEIRA, C. P. de et al. Composição florística e estrutura de um cerrado *sensu stricto* no oeste da Bahia. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 545–552, 2015.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; MELLO, J. M. de; SCOLFORO, J. R. Effects of past disturbance and edges on tree community structure and dynamics within a fragment of tropical semideciduous forest in south-eastern Brazil over a five-year period (1987–1992). **Plant Ecology**, v. 131, n. 1, p. 45–66, 1997.
- PEREIRA, Z. V. et al. Usos múltiplos de espécies nativas do bioma Cerrado no Assentamento Lagoa Grande, Dourados, Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 2, p. 126–136, 2012.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>
- RIBEIRO, M. N. et al. Fogo e dinâmica da comunidade lenhosa em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, Mato Grosso. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 1, p. 203–217, 2012.
- RIOS, M. N. da S.; SOUSA-SILVA, J. C.; MALAQUIAS, J. V. Mudanças pós-fogo na florística e estrutura da vegetação arbóreo-arbustiva de um cerrado sentido restrito em Planaltina-DF. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 469–482, 2018.
- ROCHA, E. et al. Florística e fitossociologia em um fragmento de Cerrado no sudoeste de Goiás. **Global Science and Technology**, v. 07, n. 03, p. 110–118, 2014.
- 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.

SHEIL, D.; MAY, R. M. Mortality and recruitment rate evaluations in heterogeneous tropical forests. **Journal of Ecology**, v. 84, n. 1, p. 91–100, 1996.

SILVA, G. O.; SOUZA, P. B. Fitossociologia e estrutura diamétrica de um cerrado *sensu stricto*, Gurupi – TO. **Revista Desafios**, v. 03, n. Especial, p. 22–29, 2016.

SILVA NETO, A. J. da et al. Dinâmica da comunidade arbórea em um fragmento de cerrado *sensu stricto* em Minas Gerais, Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 113, p. 21–29, 2017.

SILVA NETO, V. L. et al. Fitossociologia e distribuição diamétrica de uma área de cerrado *sensu stricto*, Dueré - TO. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 91–106, 2016.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. 5a. ed. Upper Saddle River - NJ: Prentice-Hall, 2010.

CAPÍTULO III

VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO ESTOQUE DE CARBONO EM FRAGMENTOS DE CERRADO EM MINAS GERAIS

RESUMO

O Cerrado é considerado como um *hotspot* mundial em decorrência da biodiversidade que abriga. Assim, o domínio atua como sumidouro de carbono, serviço ecossistêmico diretamente relacionado com a mitigação climática. Nesse sentido, o estudo objetivou avaliar a variação espaço-temporal do estoque de carbono em fragmentos do Cerrado por meio da geração de mapas temáticos das áreas. Foram amostrados três fragmentos situados na região da bacia do Rio São Francisco e Vale do Jequitinhonha. Nas parcelas inventariadas, mensurou-se todos os indivíduos com $DAP \geq 5$ cm, a altura total de todos os indivíduos que atenderam o critério de inclusão, bem como realizou a identificação botânica. Determinou-se o estoque de carbono presente em cada fragmento por meio do AGB. Realizou-se a análise espacial por meio da geração de semivariogramas e posteriormente empreendeu-se a Krigagem e IDW para obtenção dos mapas temáticos que por fim foram correlacionados. Para todos os fragmentos analisados, a variação média do carbono esteve entre 10,23 e 32,8 $Mg.ha^{-1}$. Selecionou-se o modelo exponencial como o de melhor ajuste. Os mapas temáticos permitiram prever quanto ao crescimento do estoque de carbono em todos os fragmentos e seus respectivos intervalos. Ademais, a correlação entre mapas estabeleceu claramente a variação do estoque de carbono entre os períodos de mensuração. O estoque de carbono teve um aumento progressivo em todos os fragmentos e anos de mensuração analisados e a utilização da técnica de geoestatística viabilizou uma melhor visualização das alterações ocorrentes.

Palavras-chave: Geoestatística. Inventário florestal. Domínio Cerrado.

SPACE-TEMPORAL VARIATION OF CARBON STOCK INTO SAVANNA'S FRAGMENTS IN MINAS GERAIS

ABSTRACT

The Cerrado is classified as a global hotspot due to its biodiversity. The domain acts as a carbon sink, an ecosystem service related to climate mitigation. In this way, the objective of this study was to evaluate the space-time variation of the carbon stock in the Cerrado fragments through the generation of thematic maps of the areas. Three fragments were sampled in the region of the São Francisco River Basin and the Jequitinhonha Valley. In the inventoried plots, it was measured all individuals with $DBH \geq 5$ cm, their total height as well as the botanical identification. The carbon stock present in each fragment was determined by AGB. Spatial analysis was performed through the generation of semivariograms. It was used the Kriging and IDW to achieve the thematic maps that were correlated at the end. For all fragments analysed, the mean carbon was between 10.23 and 32.8 $Mg.ha^{-1}$. The exponential model was selected as the best fit. The maps were able to predict the growth of the carbon stock in all fragments and

their respective intervals. The correlation gave a better perspective about the variation between intervals in each area. The carbon stock had a progressive growth in all fragments and the use of geostatistics method helped to have a better visualization of it.

Key-words: Geostatistics. Forest Inventory. Cerrado Domain.

1. INTRODUÇÃO

As comunidades arbóreas abrigam uma diversidade expressiva e, portanto, possuem recursos de grande importância nos aspectos ambientais, sociais e econômicos (ARNOLD et al., 2011; GARDNER et al., 2009; PINHEIRO; MARCELINO; MOURA, 2018; SANQUETTA et al., 2018; TILMAN; ISBELL; COWLES, 2014). Dentre as formações nativas brasileiras, o Cerrado é o segundo maior domínio em dimensão territorial, com grande riqueza florística e paisagística, além de ser considerado como um *hotspot* mundial devido às suas características intrínsecas (FERREIRA et al., 2016; MYERS et al., 2000; SILVA NETO et al., 2016). No entanto, essa vegetação têm sofrido perdas em sua estrutura por causa do uso indiscriminado dos seus recursos para atividades agropecuárias (RIBEIRO et al., 2011; SILVEIRA et al., 2018; STRASSBURG et al., 2017).

Com isso, os estudos sobre o desenvolvimento e crescimento da fitofisionomia além da quantificação do estoque presente, permite a obtenção de informações que direcionam para o emprego de ações mitigadoras a favor da diminuição dos impactos e consequente conservação da vegetação (ALVES et al., 2016; CARVALHO; MARCO JÚNIOR; FERREIRA, 2009; FRANÇOSO et al., 2015; ROQUETTE, 2018).

Dada a importância, o arranjo das comunidades vegetais é considerado como um dos principais direcionadores do ciclo global do carbono (VANDERWEL; LYUTSAREV; PURVES, 2013). Assim, o conhecimento da estrutura da vegetação é de suma relevância, pois permite inferir a respeito de práticas em prol da manutenção das espécies e preservação do carbono (AZEVEDO et al., 2018; FERREIRA et al., 2018).

O estoque de carbono é considerado um dos mais solenes serviços ecossistêmicos ambientais, sendo diretamente afetado por ações como desmatamento, fogo, fragmentação e traços funcionais das espécies presentes na área (BELLO et al., 2015; RIBEIRO et al., 2017; VANDERWEL; LYUTSAREV; PURVES, 2013). Dessa forma, os estudos de dinâmica da comunidade arbórea subsidiam informações sobre a variação do carbono presente em determinado período de tempo.

Cabe ressaltar que a quantificação da variável carbono pode ser obtida por meio de métodos diretos, que consiste no abate das árvores, e indiretos dos quais empregam modelos matemáticos com a utilização das características mensuradas na floresta como o diâmetro e altura (QURESHI et al., 2012; RIBEIRO et al., 2017). Contudo, o estoque de carbono pode ser melhor estimado e a variação visualizada com a aplicação de técnicas espaciais, como a geoestatística (MORAIS et al., 2017; SCOLFORO et al., 2015, 2016). Este método da estatística espacial permite a espacialidade da variável de interesse, com a constatação da sua distribuição e variabilidade, além de mensurar os fatores imprevisíveis associados (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Estudos que avaliam simultaneamente variações temporais-espaciais do estoque de carbono da vegetação são escassos, no entanto podem ser úteis para o entendimento da ecologia, ações de conservação e práticas de manejo. Nessa conjuntura, este estudo tem como objetivo avaliar a variação espaço-temporal do estoque de carbono em fragmentos do Cerrado, em dois intervalos de tempo, por meio da geração de mapas temáticos das áreas, como forma de assegurar esse importante serviço ecossistêmico e entender a dinâmica das formações vegetais, nos três períodos de mensuração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Os dados para realização deste estudo são oriundos de áreas características do domínio Cerrado localizadas na Bacia do Rio São Francisco e do Rio Jequitinhonha. Foram inventariados três fragmentos, sendo o fragmento I (campo cerrado), fragmento II (cerrado *sensu stricto*), e o fragmento III (cerrado *sensu stricto*). O fragmento I possui uma área de 236,85 hectares e se encontra localizado no município de Brasilândia de Minas (45°51'30,12"O e 16°56'33,84"S). A região é caracterizada por uma precipitação média anual de 1285,92 mm, temperatura média de 22,95°C e altitude média de 578 m, sendo o solo classificado como Latossolo (SCOLFORO; MELLO; OLIVEIRA, 2008).

O fragmento II está sob a longitude 43°47'55,40"O e latitude 17°20'39,23"S, no município de Olhos d'Água. A área de estudo, que está em estágio de regeneração avançado, corresponde à 111,90 hectares e se caracteriza por uma altitude média de 855 m e solo

classificado como Latossolo. A temperatura média anual é de 20,91°C e precipitação média anual de 1187,21 mm (SCOLFORO; MELLO; OLIVEIRA, 2008).

Localizado em Corinto (44°21'10,21"O e 18° 27'55,63"S), o fragmento III possui uma área de 178,11 hectares com poucos indícios de antropização. A altitude média é de 643 m e solo classificado como Cambissolo. A temperatura média da região é aproximadamente de 21,48°C, em que a precipitação média anual é 1312,12 mm. Na área de abrangência do fragmento tem-se a presença de uma vereda e curso d'água com trechos perenes e outros intermitentes (SCOLFORO; MELLO; OLIVEIRA, 2008) (FIGURA 1).

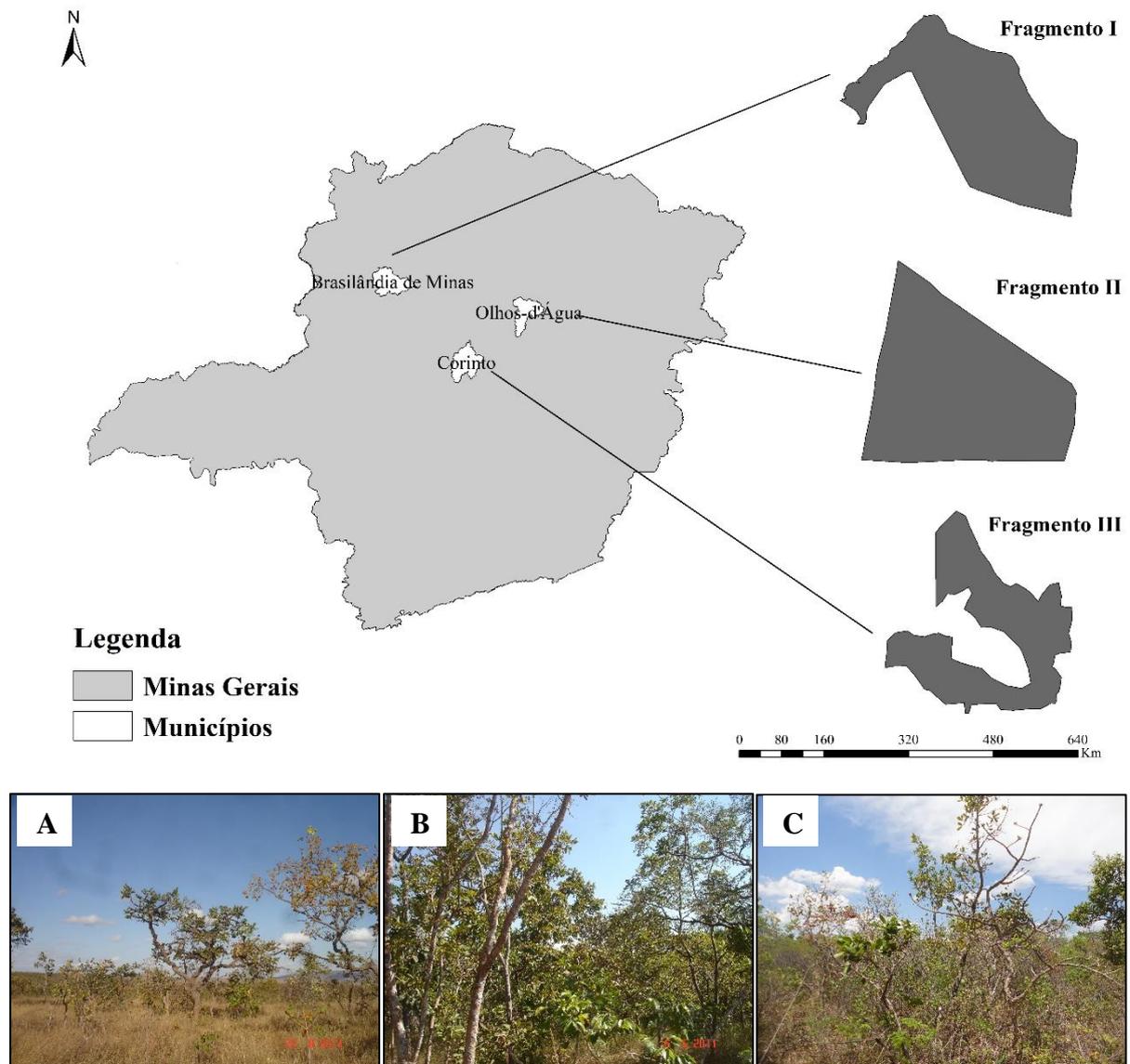


FIGURA 1 – Áreas de estudo localizadas no estado de Minas Gerais, Brasil. A) Fragmento I com vegetação característica de campo cerrado situado no município de Brasilândia de Minas; B) Fragmento II com vegetação de cerrado *sensu stricto* localizado no município de Corinto;

C) Fragmento III com vegetação de cerrado *sensu stricto* situado no município de Olhos d'Água.

2.2 Base de dados

Por meio da amostragem sistemática foram realizados para cada fragmento três levantamentos florestais, em três intervalos de tempo diferentes. Para o fragmento I foram demarcadas 40 unidades amostrais de 10 x 100 m (1000 m²), totalizando quatro hectares. A primeira medição ocorreu no ano de 2003, e todas as parcelas foram remeidas nos anos de 2010 e 2014.

No fragmento II, inicialmente, foram amostradas 11 parcelas de 10 x 100 m (1000 m²) no ano de 2003. Na mensuração posterior, em 2005, foram lançadas mais 13 unidades amostrais com as mesmas dimensões, totalizando 2,4 hectares. Conseqüentemente, no ano de 2005 foram quantificadas 24 parcelas, em que 11 foram remeidas e 13 tiveram sua primeira medição. Em 2010 todas as unidades amostrais foram mensuradas.

Em relação ao fragmento III, foram alocadas 11 parcelas com dimensões de 10 x 100 m (1000 m²) no ano de 2002. Para as medições futuras foram lançadas mais 9 unidades amostrais. Sendo assim, no primeiro ano foi realizada a mensuração de 11 parcelas e no ano de 2005 e 2013 foram inventariadas 20 unidades amostrais, com a remedição das parcelas amostradas no inventário do ano de 2002 e medição das novas unidades amostrais.

Para a realização do inventário florestal, considerou-se o mesmo método de inclusão para os três fragmentos, sendo este a mensuração de todos os indivíduos arbóreos vivos com diâmetro à 1,30 metros do solo (DAP) ≥ 5 cm. Na mesma ocasião, mensurou-se a altura total e realizou-se a identificação botânica de todos os indivíduos avaliados.

Em todos os fragmentos e anos de mensurações, os indivíduos que atenderam o critério de inclusão foram marcados com placas de alumínio com informações a respeito do número da planta e parcela, além disso todas as unidades amostrais foram georreferenciadas. Sendo assim, tais informações viabilizaram a remedição das árvores nas mensurações posteriores.

2.3 Análise de dados

2.3.1 Estimativa de carbono

Por meio das informações obtidas nos inventários realizados em cada fragmento empreendeu-se a estimativa do estoque de carbono presente nas áreas de estudo. Inicialmente realizou-se a quantificação do estoque da biomassa acima do solo (above-ground biomass – AGB) por meio da equação de Chave et al. (2005) (EQUAÇÃO 1) para cada indivíduo. Este procedimento leva em consideração, para a estimativa, a variável diâmetro assim como a média da densidade da madeira, obtida por meio do banco de dados The Global Wood Density (GWD).

$$AGB = \exp(-2,024 - 0,896 * E + 0,920 * \log(WD) + 2,795 * \log(D) - 0,0461 * \log(D)^2) \quad (1)$$

Em que:

AGB é a biomassa acima do solo;

exp é exponencial;

E é a medida do estresse ambiental estimado a partir das coordenadas do local;

log é o logaritmo;

WD é a densidade básica da madeira (g.cm³);

D é o diâmetro medido a 1,3m de altura do solo (cm).

O processamento para estimativa da AGB se deu a partir do software R (R CORE TEAM, 2017) por meio do pacote “BIOMASS” (REJEU-MECHAIN et al., 2018). As estimativas foram transferidas para planilhas do software EXCEL 2016, em que o valor de AGB de cada árvore foi multiplicado por um fator igual à 0,471, resultando assim no valor de estoque de carbono presente nas parcelas e conseqüentemente nos fragmentos. A utilização deste fator está atrelada a proporção de carbono para as angiospermas, isto é, 47,1% corresponde a fração média de carbono para estes indivíduos (SULLIVAN et al., 2017; THOMAS; MARTIN, 2012).

Por fim, para verificar o crescimento do estoque de carbono para cada fragmento nos períodos analisados, determinou-se o incremento periódico anual (IPA) por hectare da característica de interesse. Além disso, calculou-se o coeficiente de variação (CV%) para todas as áreas avaliadas e seus respectivos intervalos de mensuração.

2.3.2 Análise espacial

Para todos os fragmentos, com os dados de estoque de carbono referente a cada parcela em seus respectivos anos de mensuração, realizou-se a análise geoestatística a fim de verificar a estrutura de continuidade espacial por meio do software R (R CORE TEAM, 2017). Foram gerados os semivariogramas experimentais e ajustados os modelos teóricos esférico, exponencial e gaussiano. Mediante os ajustes dos semivariogramas, definiu-se os parâmetros: efeito pepita, alcance e patamar. A avaliação do desempenho e seleção do modelo ajustado se deu a partir da análise de parâmetros estatísticos como o erro reduzido, desvio padrão dos erros reduzidos, erro médio absoluto e critério de informação de *Akaike* (AIC).

Com a aplicação do interpolador espacial, mediante a utilização do software ArcGis 10.5, para aqueles fragmentos e anos de mensuração que apresentaram dependência espacial procedeu-se com a Krigagem ordinária, procedimento que leva em consideração a distância e covariância existente entre os pontos, e para os demais, optou-se por trabalhar com o Inverso Quadrado da Distância (IDW), que aborda somente a distância existente entre os pontos. Ressalta-se que para todos os fragmentos e respectivos intervalos de mensuração, realizou-se a distribuição do carbono em seis classes de intervalos de mesma amplitude (5; 15; 25; 35; 45 e 55 Mg. ha⁻¹). Por meio dos mapas gerados pelas técnicas supracitadas empreendeu-se a comparação entre os estoques de carbono presente nas áreas de estudos e anos de mensuração.

Ainda com o propósito de avaliar o crescimento do estoque de carbono nas áreas, realizou-se a correlação, que leva em consideração a matriz de pontos, entre os mapas de interpolação de cada fragmento. O processamento foi a partir da ferramenta Band Collection Statistic do programa ArcGis 10.5 que dispõe da opção *Compute covariance and correlation matrices*. Assim, é fornecido como resultado a matriz de correlação referente a cada camada. Por fim, foram gerados gráficos representando a abrangência de área por cada classe de carbono nos respectivos anos de mensuração em cada fragmento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por intermédio dos levantamentos florestais realizados nas áreas de interesse, quantificou-se o estoque de carbono presente nos fragmentos. De maneira geral pode-se inferir que houve um crescimento da variável em todas as áreas ao longo do período. No entanto, ressalta-se que para os fragmentos II e III houve o acréscimo no número de unidades amostrais

a partir da segunda mensuração, e este fato contribui para uma melhor caracterização da variabilidade existente na área e consequentemente, melhor descrição dos resultados obtidos.

Para todos os fragmentos analisados, a variação média do carbono esteve entre 10,23 e 32,8 Mg.ha⁻¹. Tendo em vista, valores encontrados em outros estudos, considerando a mesma fitofisionomia, os resultados obtidos neste estudo se encontram no intervalo de estoque de carbono esperado. Cordeiro et al. (2018), avaliando a variação temporal do estoque de carbono em uma área de cerrado *sensu stricto* também em três períodos, encontraram um intervalo de 11,51 a 34,52 Mg.ha⁻¹. Lopes e Miola (2010) avaliando o sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do Cerrado, quantificaram um valor de 3,85 Mg.ha⁻¹, resultado inferior a todos os fragmentos avaliados neste estudo. Scolforo et al. (2015), ao realizar um mapeamento do carbono em três domínios brasileiros, discorrem que o cerrado *sensu stricto* apresenta um estoque de 11,40 Mg.ha⁻¹.

Em relação ao coeficiente de variação calculado para todos os fragmentos e anos de mensuração, este mostrou que o fragmento II foi aquele que apresentou menor variabilidade do estoque de carbono entre os anos de mensuração, variando de 24,03 a 31,77%. O fragmento I, no entanto, apresentou um CV de 75,73% no primeiro ano de mensuração, diminuindo para 59,71% no último ano. Por fim, o fragmento III apresentou um intervalo entre 66,60 e 46,50%. Cabe ressaltar que todas as áreas avaliadas exprimiram uma redução na variabilidade entre os anos de mensuração.

TABELA 1 – Coeficiente de variação e estoque de carbono médio dos fragmentos avaliados em seus respectivos períodos de tempo. Em que: N é o número de parcelas amostradas; C é o carbono médio; CV é o coeficiente de variação.

	FRAGMENTO								
	I			II			III		
Ano	2003	2010	2014	2003	2005	2010	2002	2005	2013
N	40	40	40	11	24	24	11	20	20
C (Mg.ha⁻¹)	10.23	13.54	15.68	23.36	26.12	31.31	18.98	26.70	32.8
CV (%)	75,73	64,24	59,71	31,77	26,55	24,03	66,60	53,06	46,50

Ao quantificar o incremento periódico anual por hectare, observa-se que este variou entre 0,3054 a 2,5740 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. Considerando todos os fragmentos analisados, o primeiro apresentou menor IPA nos dois intervalos de dinâmica. Ao avaliar o fragmento II, observa-se que este exibiu um incremento próximo nos dois intervalos. Quanto ao fragmento III, constatou-se um maior incremento no primeiro intervalo, no entanto, no decorrer do tempo houve um

decréscimo acentuado do IPA, o que pode ser atribuído a uma estabilização do estoque de carbono, pois essa área possui pouca influência antrópica o que resulta em um bom estado de conservação do fragmento (RAVINDRANATH; CHATURVEDI; MURTHY, 2008) (TABELA 2).

TABELA 2 - Incremento periódico anual do estoque de carbono para os fragmentos analisados e seus respectivos intervalos de mensuração. Em que: T é o intervalo de tempo; IPA é o incremento periódico anual ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$).

	Fragmento I		Fragmento II		Fragmento III	
T	2003-2010	2010-2014	2003-2005	2005-2010	2002-2005	2005-2013
IPA	0,4723	0,3054	1,3799	1,0393	2,5740	0,7624

No que diz respeito à análise espacial, para todos os fragmentos e intervalos avaliados, mediante o diagnóstico dos semivariogramas e parâmetros estimados, selecionou-se o modelo exponencial como sendo o de melhor ajuste. Ainda que o erro absoluto tenha apresentado maiores valores para o modelo exponencial em todos os fragmentos, optou-se por padronizar a seleção do modelo pela análise da contribuição e AIC. Ressalta-se que o modelo exponencial geralmente apresenta um bom desempenho para trabalhos com o mesmo direcionamento deste estudo (MORAIS et al., 2017; SCOLFORO et al., 2016). Para os fragmentos e intervalos que apresentaram dependência espacial, observa-se que o erro absoluto variou entre 4,37 a 6,41 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Assim também, os modelos apresentaram baixos valores de erro reduzido e desvio padrão dos erros reduzidos (TABELA 3).

TABELA 3 - Parâmetros dos semivariogramas ajustados do estoque de carbono para todos os fragmentos analisados e seus respectivos intervalos de mensuração. Em que: Exp: Exponencial; Esf: Esférico; Gau: Gaussiano; Co: Efeito pepita; C: contribuição; A é o alcance; E_{Red} : Erro reduzido; Desvpad : Desvio padrão dos erros reduzidos; E_{abs} : Erro médio absoluto; AIC: Critério de informação de Akaike.

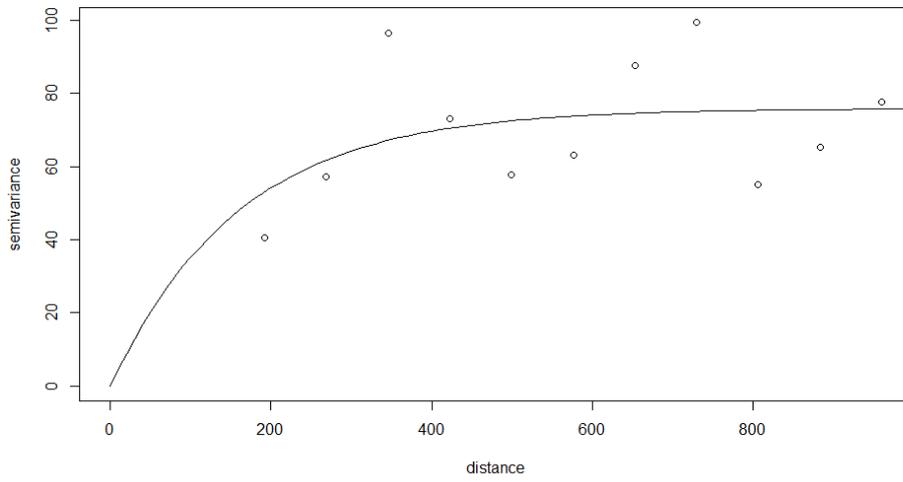
Fragmento	Período	Modelo	Co	C	A	E_{Red}	Desvpad	E_{abs}	AIC
I	2003	Exp	0.00	75.91	160.00	-2.13E-03	8.86E-01	4.59	-137.79
		Esf	0.00	74.04	401.00	-3.35E-03	8.66E-01	4.39	-140.73
		Gau	0.00	74.60	197.96	-3.86E-03	8.70E-01	4.37	-137.80
	2010	Exp	0.00	94.55	166.74	-1.72E-03	9.03E-01	5.62	-142.43
		Esf	0.00	91.50	397.72	-2.41E-03	8.81E-01	5.42	-145.45
		Gau	0.00	92.11	195.20	-2.61E-03	8.84E-01	5.44	-142.42

		Exp	0.00	107.68	168.17	-1.20E-03	9.29E-01	6.41	-145.63
	2014	Esf	8.56	96.45	438.27	-2.02E-03	9.41E-01	6.26	-148.69
		Gau	47.51	58.45	264.39	-1.43E-03	9.37E-01	6.39	-145.75
		-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-
II		Exp	0.00	69.71	266.80	1.30E-02	8.28E-01	5.00	-80.26
	2005	Esf	4.50	59.77	592.35	1.28E-02	9.00E-01	5.03	-82.66
		Gau	17.68	47.32	312.84	1.43E-02	8.87E-01	4.96	-80.47
		Exp	0.00	55.87	229.70	1.06E-02	8.59E-01	5.05	-79.43
	2010	Esf	17.59	36.77	726.13	8.86E-03	8.42E-01	5.03	-80.73
		Gau	22.06	31.82	334.99	9.55E-03	8.55E-01	5.04	-79.60
		-	-	-	-	-	-	-	-
	2002	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-
III		-	-	-	-	-	-	-	-
	2005	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-
	2013	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-

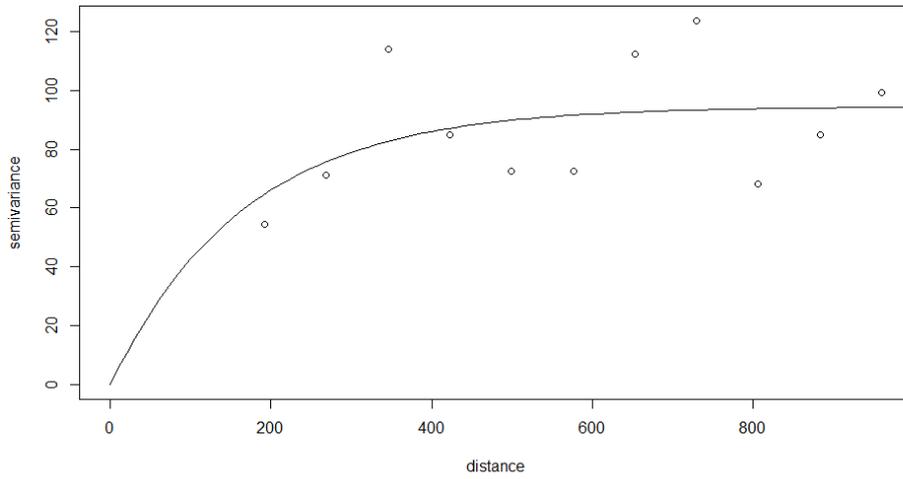
Ao analisar os semivariogramas obtidos, é possível depreender que o fragmento I apresentou dependência espacial em todos os períodos de mensuração, diferindo do fragmento II que apresentou dependência somente nos anos de 2005 e 2010. Cabe ressaltar que, o fragmento III por sua vez, não apresentou dependência em nenhum dos anos avaliados. A ausência de dependência espacial nos períodos supracitados tem como principal fator uma escala amostral inadequada, bem como a localização das parcelas (FIGURA 2).

Assim também, vale destacar a contribuição, parâmetro este que, para o fragmento I, aumentou com o decorrer dos anos, exceto para o modelo gaussiano. No entanto, para o fragmento II, que apresentou dependência espacial nas duas últimas mensurações, houve uma diminuição da contribuição.

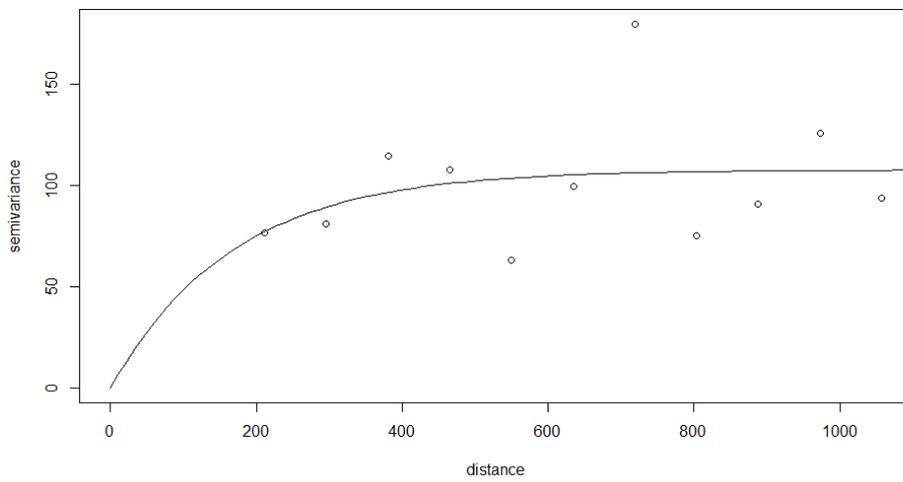
Fragmento I - 2003

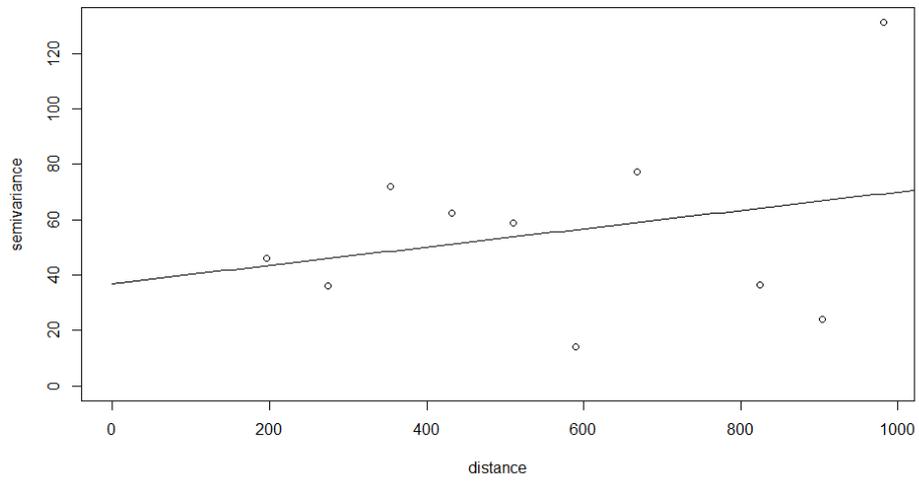
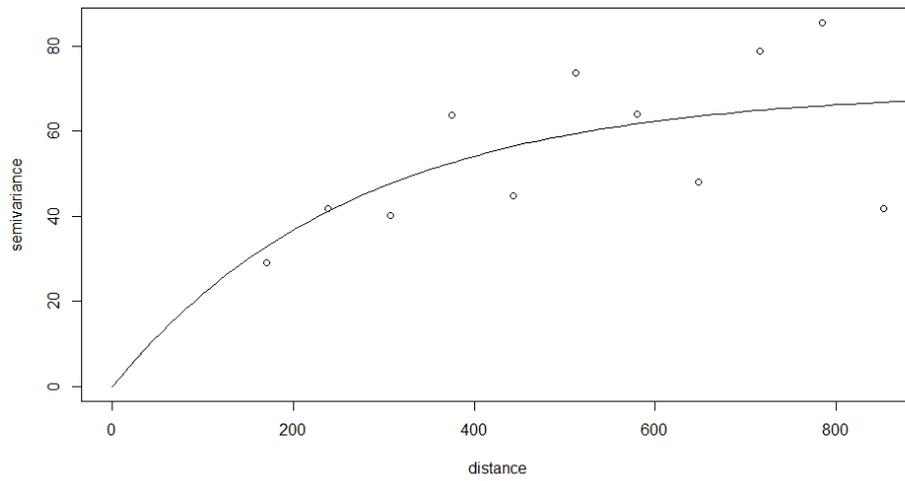
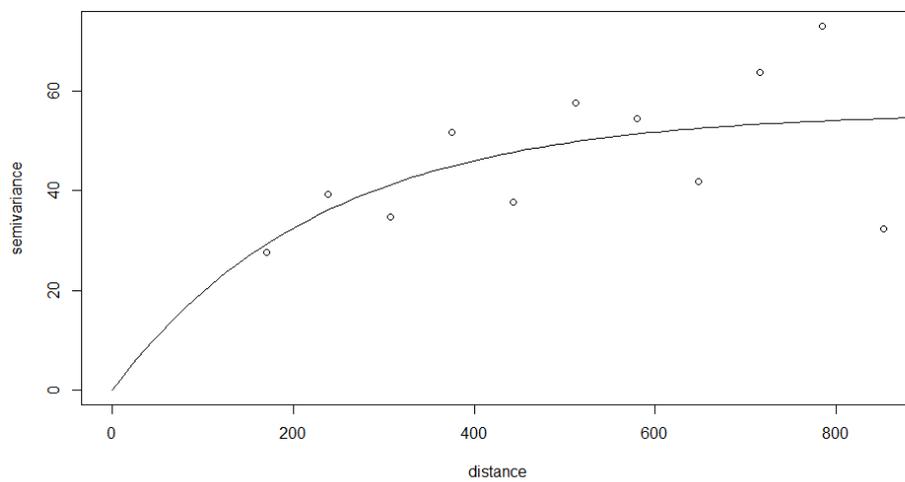


Fragmento I - 2010



Fragmento I - 2014



Fragmento II - 2003**Fragmento II - 2005****Fragmento II - 2010**

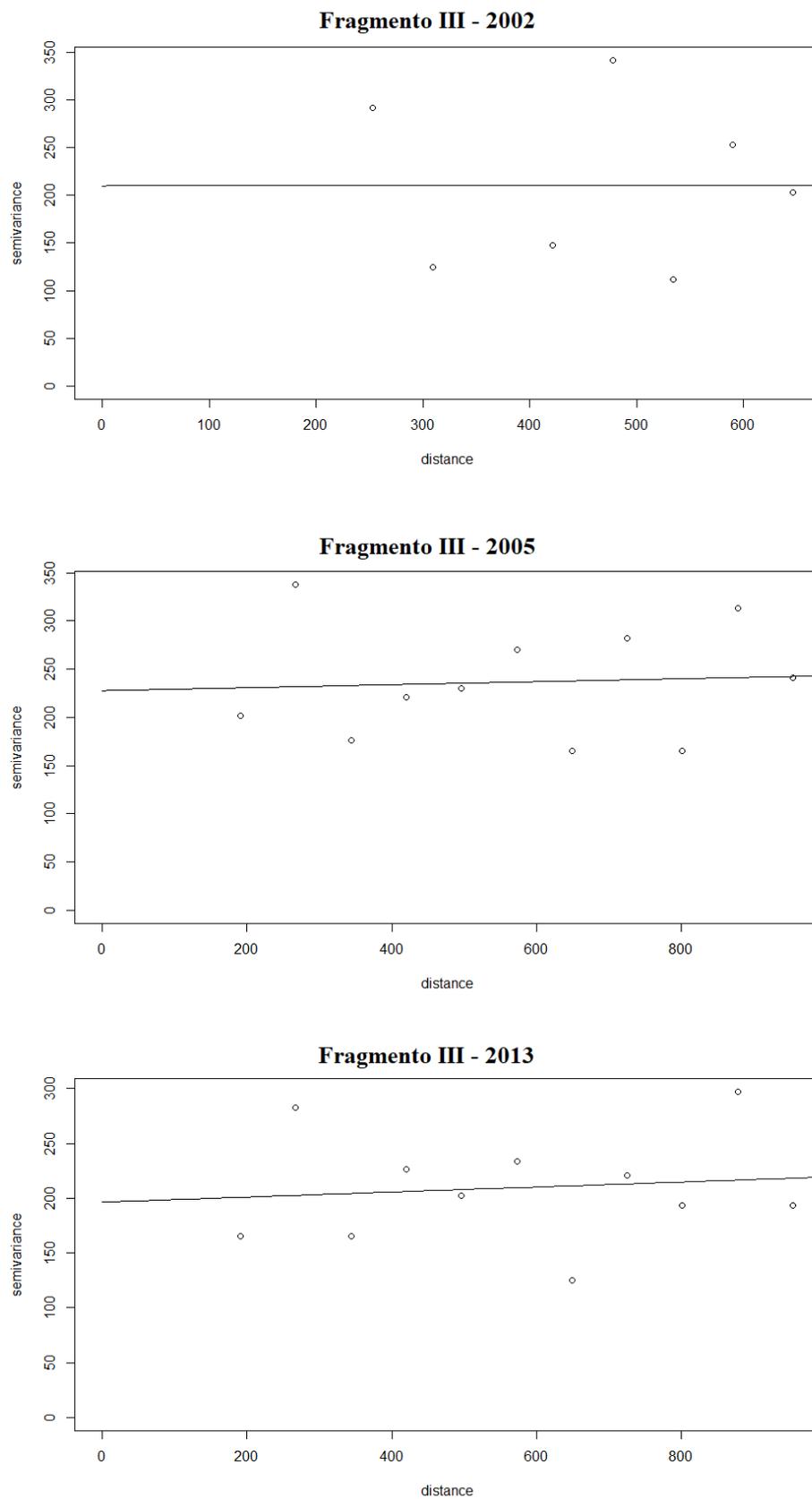


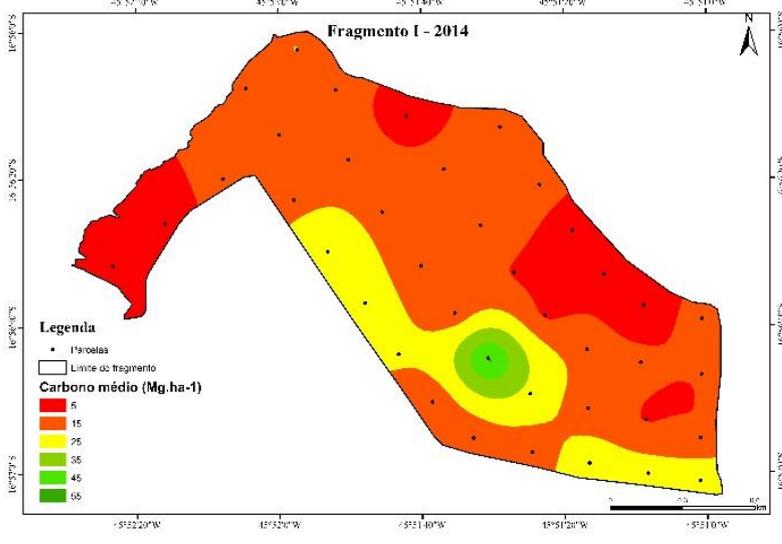
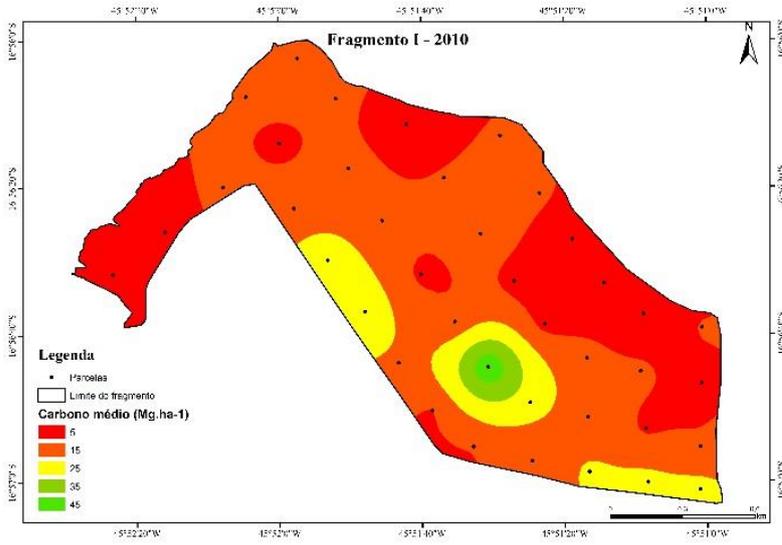
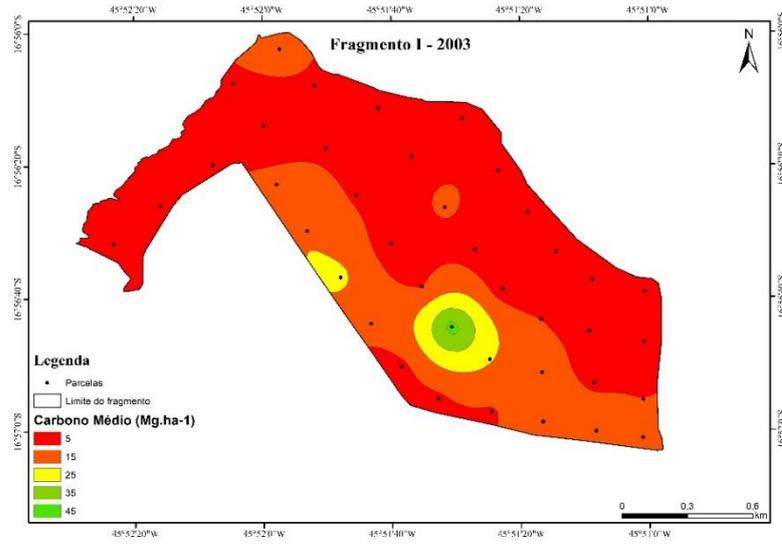
FIGURA 2 – Semivariograma do modelo exponencial para os três fragmentos e respectivos intervalos de mensuração.

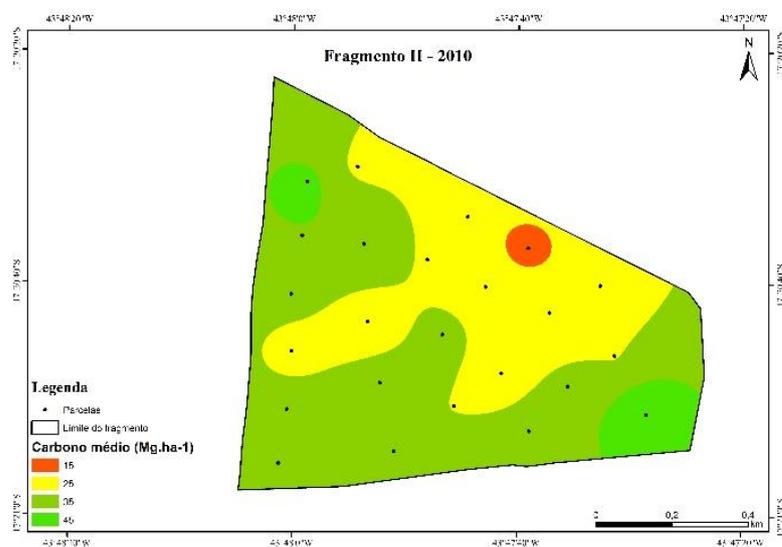
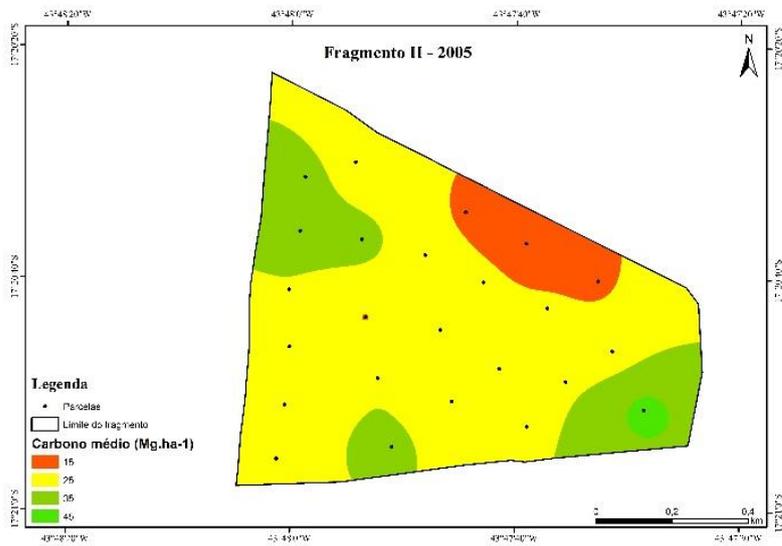
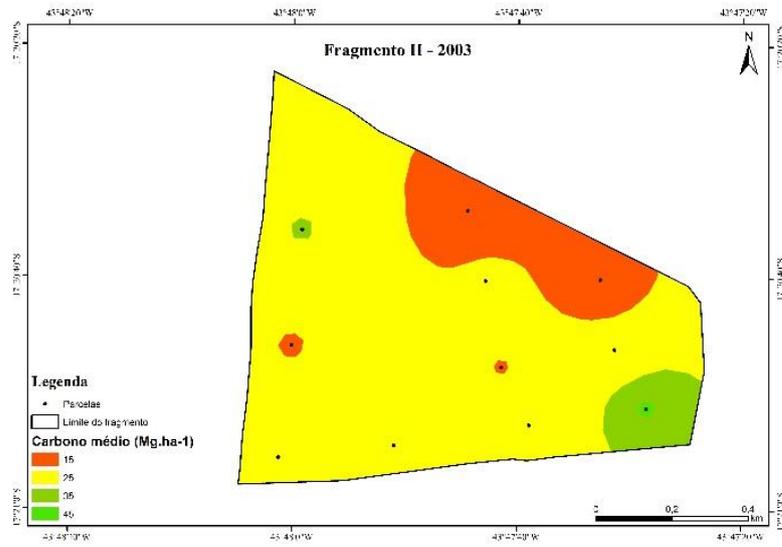
Tendo em vista os resultados apresentados quanto a dependência espacial, foram gerados os mapas temáticos seguindo o critério adequado para cada situação, krigagem ou inverso quadrado da distância (IDW), com o objetivo de visualizar o comportamento da variável carbono nos fragmentos ao longo do tempo.

Considerando que todos os fragmentos tiveram os dados de carbono distribuídos em seis classes, a variação do estoque de carbono pode ser melhor visualizada entre os períodos. Para o fragmento I, com vegetação predominante de campo cerrado, nota-se uma alta concentração do estoque de carbono na primeira classe ($5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para o primeiro ano de mensuração. No entanto, com o decorrer do tempo, ocorre uma diminuição de área para classe de $5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, deslocando para as classes de 15 e $25 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, que passam a ter uma maior representatividade. 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).

O fragmento II, que inicialmente possuía 11 parcelas e nas medições posteriores houve o acréscimo de 13 parcelas, apresentou um comportamento similar em que constata-se uma transição do estoque de carbono para as maiores classes. Evidencia-se aqui que o primeiro período de mensuração nesta área não apresentou dependência espacial, portanto o mapa de cores foi gerado pelo método IDW, que leva em consideração somente a distância entre os pontos. Para os anos de 2005 e 2010, procedeu-se com a krigagem, metodologia que aborda a distância e covariância, trazendo assim maior confiabilidade nos mapas obtidos.

Em relação ao fragmento III, que segue o mesmo padrão do fragmento anterior quanto ao acréscimo de parcelas, é notável o crescimento quanto ao estoque de carbono. Pode-se inferir que da primeira mensuração em 2002 para a última em 2013, houve um decréscimo significativo na representatividade da primeira classe e um aumento na última classe ($45 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). O procedimento aplicado foi o de IDW, em todos os períodos, pois não houve a ocorrência de dependência espacial. Cabe destacar que, de forma geral as parcelas já existentes na primeira mensuração tendem a permanecer na mesma classe na segunda medição, o que pode estar associado com o curto intervalo (2002-2005) existente entre os dois inventários. Em contrapartida, a terceira medição apresentou uma maior área nas últimas classes de carbono, o que pode ser explicado pelo fato do maior intervalo de medição (2005-2013) que resultou em um maior crescimento dos indivíduos (FIGURA 3).





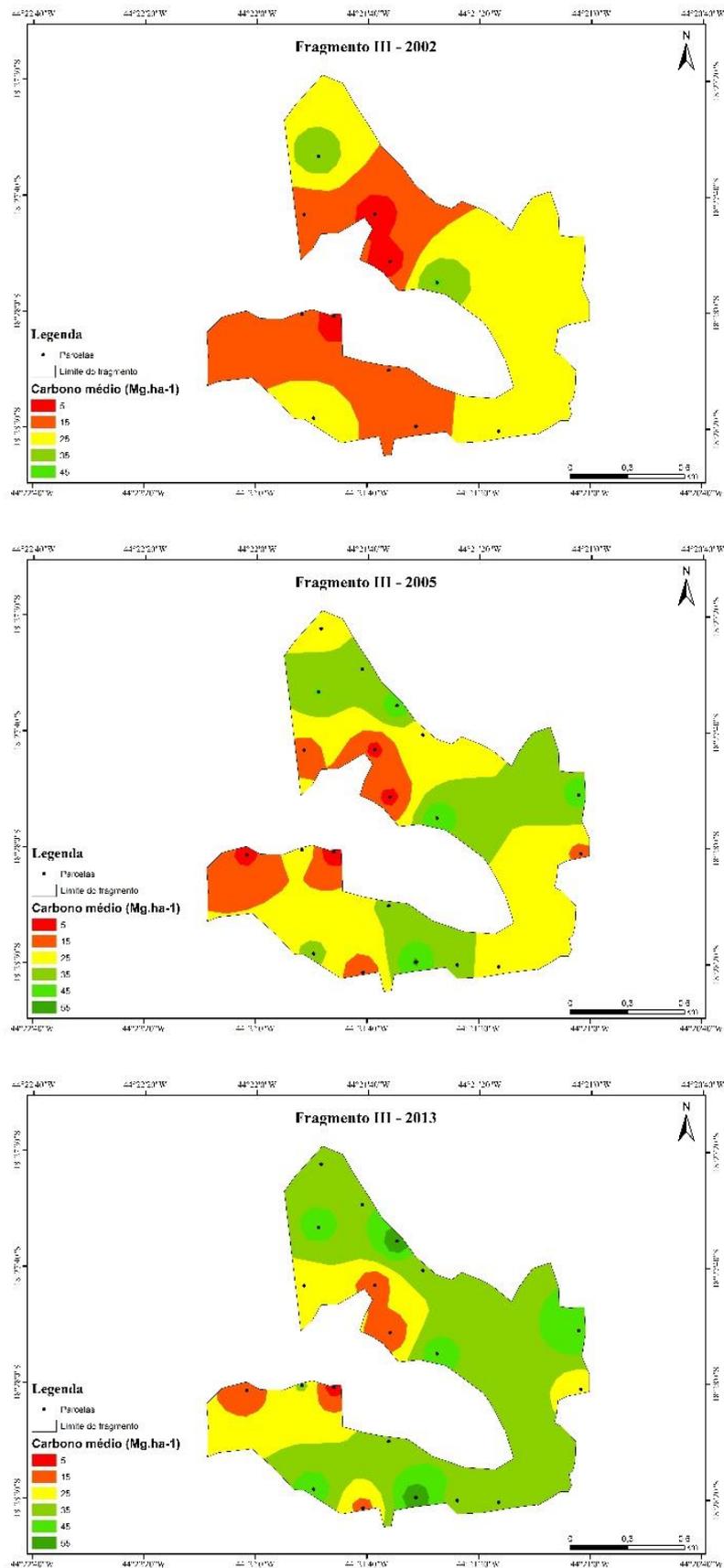


FIGURA 3 – Mapas de interpolação para seis classes de carbono médio em cada intervalo de tempo dos fragmentos avaliados.

A constante transição do estoque de carbono entre as classes permite depreender quanto o comportamento da formação vegetal, que ao passar dos anos aumentou seu potencial de estocagem, atuando assim como sumidouro de carbono (CORDEIRO et al., 2018; MIRANDA et al., 2014; RIBEIRO et al., 2011). Tais resultados possuem importância significativa, ainda que na fitofisionomia do Cerrado, a maior estocagem de carbono ocorra abaixo do solo (LOPES; MIOLA, 2010).

As áreas estudadas são consideradas como reservas legais, portanto entende-se que há pouca influência antrópica. Este fato justifica o crescimento em carbono detectado nas áreas de estudo, considerando que tal serviço ecossistêmico prestado pelos ambientes naturais é diretamente afetado por distúrbios como desmatamento e degradação (BELLO et al., 2015; PYLES et al., 2018).

Além disso, considerando que os estoques presentes, seja carbono, biomassa ou volume, em uma determinada formação vegetal são diretamente afetados pela perda da cobertura vegetal (SANQUETTA et al., 2018), pode-se inferir que o estoque de carbono nos fragmentos tiveram um crescimento em decorrência da conservação da área.

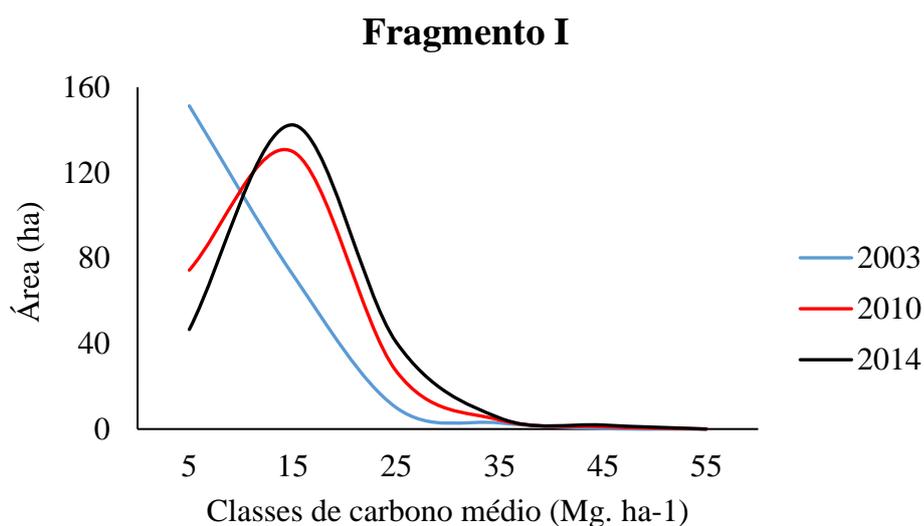
A correlação realizada entre os mapas temáticos de cada fragmento comprova os resultados visuais apresentados, isto é, considerando a área de abrangência de cada classe de carbono é notável o crescimento entre os períodos de mensuração. O fragmento I, entre 2003-2010, apresentou uma baixa correlação (0,30204) entre os mapas. Tal resultado indica que houve um crescimento de estoque de carbono. Já no intervalo entre 2010-2014 a correlação foi de 0,70132, indicando uma menor diferenciação entre os mapas. No entanto, analisando o fragmento II, observa-se um comportamento contrário ao esperado. No intervalo 2003-2010 houve uma alta correlação, contudo no mapa temático observa-se uma maior diferenciação.

O fragmento III, por sua vez, apresentou uma correlação negativa no primeiro intervalo. Todavia, vale ressaltar que uma correlação positiva permite inferir que os atributos avaliados movem juntos, resultando em uma relação forte quanto mais próximo for de um. Por outro lado, uma correlação negativa significa que as características avaliadas se movem em direções opostas. Sendo assim, a relação é tida como forte quando mais próxima de -1 a correlação ficar (TABELA 3).

TABELA 3 – Correlação de mapas entre os períodos de mensuração para cada fragmento, levando em consideração a área de abrangência de cada classe. Em que: T é a variação de tempo entre os inventários.

Fragmento	Medição I	Medição II	Correlação	T (anos)
I	2003	2010	0.30204	7
	2010	2014	0.70132	4
	2003	2014	0.37430	11
II	2003	2005	0.46619	2
	2005	2010	0.36066	5
	2003	2010	0.59008	7
III	2002	2005	-0.02912	3
	2005	2013	0.47844	8
	2002	2013	0.27925	11

Mediante os gráficos é possível inferir que todos os fragmentos apresentaram um comportamento semelhante quanto a área de abrangência do estoque de carbono, isto é, ao longo do tempo houve um incremento do estoque de carbono ocasionando assim, em uma transição das áreas para a classe subsequente (FIGURA 4).



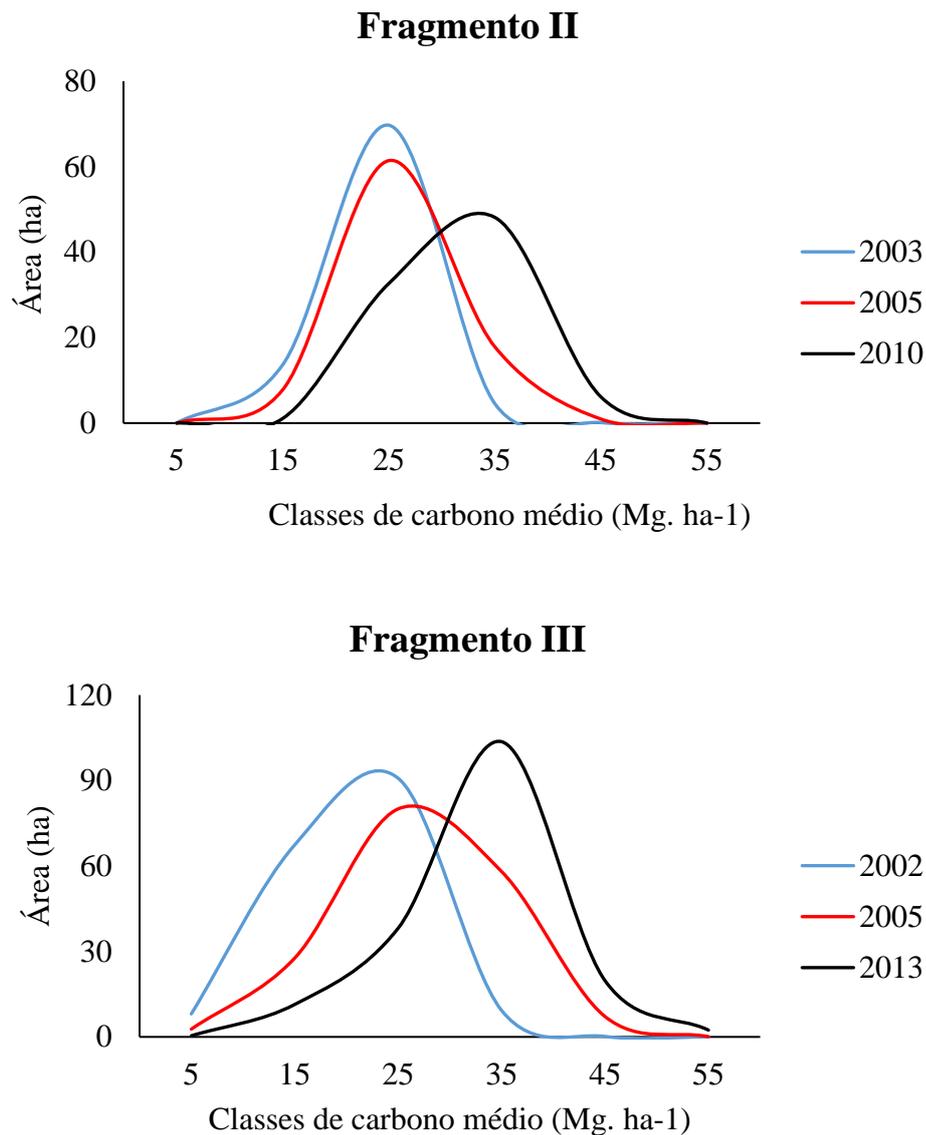


FIGURA 4 – Gráficos representativos da abrangência de área por cada classe de carbono médio por hectare para todos os fragmentos e períodos avaliados.

Para o fragmento I, a primeira classe no ano de 2003 apresentou uma área de abrangência de 151,26 hectares diminuindo nos anos posteriores para 74,38 e 46,59 hectares. Com isso, a classe II (15 Mg.ha⁻¹) passou a representar a maior área. Ressalta-se que as demais classes também obtiveram incremento, porém em menor proporção.

O fragmento II, em todos os intervalos, não apresentou estoque de carbono na primeira e última classe. Evidencia-se que a maior representatividade está atrelada com a classe III (25 Mg.ha⁻¹) no anos de 2003 e 2005. Já para o ano de 2010, a classe IV apresentou maior área. Quanto ao fragmento III, observa-se um aumento significativo para a classe IV (35 Mg.ha⁻¹)

passando de 9,30 hectares em 2002 para 103,64 hectares no ano de 2013. Destaca-se que dado o incremento em estoque de carbono para o fragmento, a classe VI que para a primeira medição não possuía área de abrangência, passou a ser representada no segundo e terceiro período (TABELA 4).

TABELA 4 – Área de abrangência por classe de estoque de carbono médio para os fragmentos avaliados e seus respectivos intervalos de tempo. Em que: C é o carbono médio.

C (Mg.ha ⁻¹)	Área Fragmento I (ha)			Área Fragmento II (ha)			Área Fragmento III (ha)		
	2003	2010	2014	2003	2005	2010	2002	2005	2013
5	151,26	74,38	46,59	0,00	0,00	0,00	8,08	2,73	0,41
15	72,30	129,89	142,35	13,63	7,78	1,07	67,41	27,68	11,40
25	10,04	27,12	40,66	69,71	61,43	32,67	90,79	80,05	38,17
35	2,87	4,24	5,22	4,53	17,84	48,14	9,30	58,05	103,64
45	0,23	1,08	1,86	0,11	0,93	6,10	0,16	7,15	19,74
55	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	2,40

Considerando os resultados obtidos neste estudo quanto ao crescimento do estoque de carbono nos fragmentos e melhor visualização da variação da característica de interesse ao longo dos anos, por meio dos mapas temáticos torna-se relevante exaltar a utilização de ferramentas como a geoestatística que vêm fornecendo subsídios para avaliação do desenvolvimento das formações vegetais em capacidade de estocagem, assim como informações em relação aos prováveis impactos sofridos pelas áreas (ROQUETTE, 2018).

A se destacar, o domínio Cerrado apresenta influência direta no balanço de carbono global, visto que, de acordo com Ribeiro et al. (2017), em estudo sobre a influência da variação interespecífica no estoque de carbono em árvores do Cerrado, determinadas espécies possuem maior capacidade de estocar carbono que outras, e portanto faz-se relevante a utilização e manutenção destas espécies. Assim é de suma importância o conhecimento da estrutura, crescimento e desenvolvimento dessa formação.

4. CONCLUSÃO

O estoque de carbono teve um aumento progressivo em todos os fragmentos e anos de mensuração analisados, comprovando assim a capacidade da formação em atuar como sumidouro de carbono. Ressalta-se que a utilização da técnica de geoestatística viabilizou uma melhor visualização das alterações ocorrentes nos fragmentos em seus respectivos anos de mensuração, permitindo assim inferir quanto ao desenvolvimento. Os fragmentos apresentaram

uma maior área de abrangência, quanto as classes de maior estoque de carbono no decorrer do tempo, e a baixa correlação detectada nos mapas para os períodos de mensuração, denotam ainda mais o incremento no estoque presente. Por fim, no segundo intervalo de cada fragmento, houve um decréscimo no incremento periódico anual, que possivelmente está associado com uma estabilização do estoque de carbono.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal (LEMAF) pela estrutura necessária para o desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALVES, L. R. et al. Crescimento inicial de *Parkia platycephala* (Benth.) e *Enterolobium timbouva* (Mart.) sob condições de campo numa área de Cerrado. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 154–164, 2016.
- ARNOLD, M. et al. EDITORIAL: Forests, biodiversity and food security. **International Forestry Review**, v. 13, n. 3, p. 259–264, 2011.
- AZEVEDO, A. D. de et al. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 183–194, 2018.
- BELLO, C. et al. Defaunation affects carbon storage in tropical forests. **Science Advances**, v. 01, n. 01, p. 1-10, 2015.
- CARVALHO, F. M. V; MARCO JÚNIOR, P. DE; FERREIRA, L. G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological Conservation**, v. 142, n. 7, p. 1392–1403, 2009.
- 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.
- CORDEIRO, N. G. et al. Variação temporal do estoque de carbono e volume de madeira em um fragmento de cerrado *sensu stricto*. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 24, p. 152–166, 2018.
- 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. Uso potencial e síndromes de dispersão das espécies de três áreas de cerrado *sensu stricto*, Tocantins. **Global Science and Technology**, v. 9, n. 3, p. 73–86, 2016.
- FRANÇOSO, R. D. et al. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. **Natureza e Conservacao**, 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. 06, p. 561–582, 2009.
- 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.
- MIRANDA, C. de et al. Regional variations in biomass distribution in Brazilian Savanna Woodland. **Biotropica**, v. 46, n. 2, p. 125–138, 2014.
- MORAIS, V. A. et al. Spatial and vertical distribution of litter and bellowground carbon in a Brazilian Cerrado vegetation. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 43–52, 2017.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. February, p. 853–858, 2000.
- PINHEIRO, R. T.; MARCELINO, D. G.; MOURA, D. R. Espécies arbóreas de uso múltiplo e sua importância na conservação da biodiversidade nas áreas verdes urbanas de Palmas, Tocantins. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 49, n. Dezembro, p. 264–282, 2018.
- PYLES, M. V. et al. Loss of biodiversity and shifts in aboveground biomass drivers in tropical rainforests with different disturbance histories. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, n. 12, p. 3215–3231, 2018.

QURESHI, A. et al. A review of protocols used for assessment of carbon stock in forested landscapes. **Environmental Science and Policy**, v. 16, n. February, p. 81–89, 2012.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

RAVINDRANATH, N. H.; CHATURVEDI, R. K.; MURTHY, I. K. Forest conservation, afforestation and reforestation in India: Implications for forest carbon stocks. **Current Science**, v. 95, n. 2, p. 216–222, 2008.

REJEOU-MECHAIN, M. et al. **BIOMASS: Estimating Aboveground Biomass and Its Uncertainty in Tropical Forests**. R package version 1.2, , 2018. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=BIOMASS>>

RIBEIRO, S. C. et al. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 3, p. 491–499, 2011.

RIBEIRO, S. C. et al. Influence of interspecific variation on tree carbon stock of a Brazilian Cerrado. **Revista Árvore**, v. 41, n. 5, p. 1–11, 2017.

ROQUETTE, J. G. Distribuição da biomassa no cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1350–1363, 2018.

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

SCOLFORO, H. F. et al. Spatial distribution of aboveground carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian Biomes of Savanna, Atlantic Forest and Semi-arid woodland. **Plos ONE**, v. 10, n. 6, p. 1–20, 2015.

SCOLFORO, H. F. et al. Spatial interpolators for improving the mapping of carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian biomes of Atlantic forest and Savanna. **Forest Ecology and Management**, v. 376, n. September, p. 24–35, 2016.

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. Fitossociologia e distribuição diamétrica de uma área de Cerrado sensu stricto, Dueré - TO. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 91–106, 2016.

SILVEIRA, E. M. de O. et al. Reducing the effects of vegetation phenology on change detection in tropical seasonal biomes. **GIScience & Remote Sensing**, v. 00, n. 00, p. 1–19, 2018.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 0099, p. 1–3, 2017.

SULLIVAN, M. J. P. et al. Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. **Scientific Reports**, v. 7, n. 39102, p. 1–12, 2017.

THOMAS, S. C.; MARTIN, A. R. Carbon content of tree tissues: A synthesis. **Forests**, v. 3, n. 2, p. 332–352, 2012.

TILMAN, D.; ISBELL, F.; COWLES, J. M. Biodiversity and ecosystem function. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 45, n. November, p. 471–493, 2014.

VANDERWEL, M. C.; LYUTSAREV, V. S.; PURVES, D. W. Climate-related variation in mortality and recruitment determine regional forest-type distributions. **Global Ecology and Biogeography**, v. 22, n. 11, p. 1192–1203, 2013.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de texto, 2013.