



**MATHEUS BAUMGRATZ REIS DE OLIVEIRA**

**VARIAÇÃO TEMPORAL DO ESTOQUE DE CARBONO E DA COMPOSIÇÃO  
FLORÍSTICA DE UM FRAGMENTO FLORESTAL NATIVO EM LAVRAS/MG**

**LAVRAS – MG  
2021**

**MATHEUS BAUMGRATZ REIS DE OLIVEIRA**

**VARIAÇÃO TEMPORAL DO ESTOQUE DE CARBONO E DA COMPOSIÇÃO  
FLORÍSTICA DE UM FRAGMENTO FLORESTAL NATIVO EM LAVRAS/MG**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Dr. Kalill José Viana da Páscoa  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2021**

**MATHEUS BAUMGRATZ REIS DE OLIVEIRA**

**VARIAÇÃO TEMPORAL DO ESTOQUE DE CARBONO E DA COMPOSIÇÃO  
FLORÍSTICA DE UM FRAGMENTO FLORESTAL NATIVO EM LAVRAS/MG**

***TEMPORAL VARIATION OF CARBON STOCK AND FLORISTIC COMPOSITION OF  
A NATIVE FOREST FRAGMENT IN LAVRAS/MG***

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 24 de novembro de 2021.

Thiza Falqueto Altoé	UFLA
Carolina Souza Jarochinski e Silva	UFLA

Dr. Kalill José Viana da Páscoa  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2021**

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a força maior, que nos une e fortalece dia a dia para que nunca deixe de acreditar.

Aos meus pais Flávio e Jussara, minha irmã Flávia, filha Cecília e demais familiares por estarem ao meu lado durante todo processo e período de graduação e serem a base de todo amor e força até aqui.

As amigas da minha cidade Lima Duarte e feitas durante a graduação, em especial as republicas da rua Afonso Pena em Lavras e demais amigos frequentes na minha casa.

A toda turma que trabalha e estuda no LEMAF, em especial Kalill, Thiza e Thiago, por ter me dado oportunidade e grande aprendizado, disciplina e confiança.

A todos professores que tive a chance de dedicar e me instruir sobre a vida e meu curso.

A todos outros envolvidos diretos ou indiretamente para que esse sonho pudesse se realizar.

**Muito obrigado!**

## RESUMO

Florestas nativas têm grande destaque no sequestro carbono e podem ser importantes fontes de recursos financeiros com a negociação de créditos de carbono. Assim a recuperação de áreas degradadas e o monitoramento do desenvolvimento dessas áreas será de grande interesse. O objetivo deste trabalho é analisar o estoque de carbono, a composição florística e a estrutura da vegetação, avaliando as alterações que aconteceram na reserva florestal da Universidade Federal de Lavras, conhecida como “Cerradinho” no período entre 1993 e 2018. Para isso, informações coletadas em inventários florestais foram utilizadas para as estimativas de estoque de carbono e cálculo dos parâmetros fitossociológicos, índices de riqueza e equabilidade. Os resultados demonstram um ganho de 85% em relação ao estoque de carbono no período analisado, totalizando 64,47 MgC, 236,53 MgCO<sub>2</sub> e 15.618,37 US\$. De forma geral, a floresta aumenta o seu estoque de carbono a cada ano em média 1,9 toneladas, em 7,2 toneladas em CO<sub>2</sub> equivalente e em US\$473,10 em valor monetário. Em relação a composição florística as 10 principais espécies representam aproximadamente 50% dos indivíduos de cada inventário. Nota-se a perda de importância de algumas espécies pioneiras e ganhos das espécies secundárias *Tapirira guianensis* e *Myrcia splendens*. O número de espécies na área teve um crescimento de 39% entre 1993 e 2018. Os valores do índice de diversidade de Shannon (H') variou entre 3,20 e 3,58 no período, indicando que a área em estudo apresenta considerável riqueza de espécies quando comparada com outras áreas da região. Os resultados indicam que, apesar de a floresta não ter atingido ainda seu nível máximo de maturidade, que a regeneração da área vem atingindo excelentes resultados em termos de conservação da biodiversidade e tem potencial de gerar créditos de carbono, trazendo resultados satisfatórios em termos financeiros.

**Palavras-chave:** Diversidade, Sucessão ecológica, Equações alométricas, Estoque de carbono, Fitossociologia.

## ABSTRACT

Native forests are very notable in carbon sequestration and can be important sources of financial resources with the negotiation of carbon credits. Thus, the recovery of degraded areas and the monitoring of the development of these areas will be of great scientific and ecological interest. This work aims to analyze the carbon stock, the floristic composition, and the vegetation structure, evaluating the changes that happened in the forest reserve of the Federal University of Lavras, known as “Cerradinho” in the period between 1993 and 2018. For this, information collected in forest inventories was used for carbon stock estimates and calculation of phytosociological parameters, richness, and evenness indices. The results show an 85% gain with the carbon stock in the period analyzed, totaling 64.47 MgC, 236.53 MgCO<sub>2</sub>, and 15,618.37 US\$. Overall, the forest increases its carbon stock each year by an average of 1.9 tons, 7.2 tons of CO<sub>2</sub> equivalent, and US\$473.10 in monetary value. Regarding the floristic composition, the 10 main species represent approximately 50% of the individuals in each inventory. Note the loss of importance of some pioneer species and gains of secondary species as *Tapirira guianensis* and *Myrcia splendens*. The number of species in the area grew by 39% between 1993 and 2018. The Shannon diversity index (H') values ranged between 3.20 and 3.58 in the analyzed period, indicating that the area under study has a considerable richness of species compared to other areas of the region. The results indicate, although the forest has not yet reached its maximum level of maturity, that the area's regeneration has been achieving excellent results in terms of biodiversity conservation and has the potential to generate carbon credits, bringing satisfactory results in financial terms.

**Keywords:** Diversity, Ecological succession, Allometric equations, Carbon stock, Phytosociology.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>2</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Estoque de carbono pelas florestas.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Estimativa do estoque de carbono.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Fitossociologia.....</b>	<b>5</b>
<b>2.4 Estrutura horizontal.....</b>	<b>6</b>
<b>2.5 Riqueza, diversidade e equabilidade.....</b>	<b>7</b>
<b>2.6 Regeneração natural.....</b>	<b>9</b>
<b>2.7 Sucessão ecológica em florestas nativas.....</b>	<b>9</b>
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO II – ARTIGO.....</b>	<b>15</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>16</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Área de estudo.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Coleta dos dados.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Quantificação do estoque de carbono.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4 Composição florística, diversidade e equabilidade de espécies.....</b>	<b>20</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Estoque de carbono ao longo dos anos.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 Análise fitossociológica.....</b>	<b>25</b>
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>32</b>

## **CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL**

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas desempenham importante papel no armazenamento de carbono, já que a vegetação, por intermédio do processo de fotossíntese, é responsável pela fixação de CO<sub>2</sub> da atmosfera na biomassa florestal, serviço esse particularmente importante no balanço global de carbono (SCHUMACHER; WISTSCHORECK Et al., 2004; TESFAYE, 2016). A partir do Protocolo de Kyoto, em 1997, na Convenção das Partes 3 (COP-3), com o surgimento dos mecanismos de compensação, projetos de recuperação/reflorestamentos passaram a ser considerados como mecanismos de grande relevância para mitigar o aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera.

Segundo Ina Horlings, Terry Marsden (2011), com o crescimento da bioeconomia em muitos locais, é oportuno, por diversas razões, que os cientistas sociais analisem suas consequências. Em primeiro lugar, a bioeconomia está relacionada a importantes debates envolvendo os tipos e estruturas de sustentabilidade que surgem nas políticas e nas práticas, bem como a capacidade desses modelos de enfrentar os principais desafios ambientais que aparecem. O imperativo do controle das emissões de carbono, em particular, tornou-se um novo conceito chave (Keil, 2007) e a gestão do carbono está sendo introduzida pelo estado como um modo de governança socioambiental (While et al., 2010). Uma das alternativas propostas é implementar um mercado de compensação, utilizando a quantidade de carbono sequestrada/estocada como uma *commodity*, de forma que os créditos de carbono gerados sejam comercializados. Acredita-se que no Brasil, com a prática da certificação do sequestro de carbono, haja possibilidade de obterem-se grandes receitas com a preservação das áreas florestais. O país sancionou recentemente a Lei Nº14.119/2021 que instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.

Embora o setor florestal possa se beneficiar com esse cenário, existe a necessidade de trabalhos científicos evidenciando o real potencial da restauração florestal ao longo dos anos para geração de créditos de carbono. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar as alterações que ocorreram na reserva florestal da Universidade Federal de Lavras, conhecida como “Cerradinho”, em relação ao estoque de carbono e composição das espécies ao longo do período de 1993 a 2018, evidenciando a importância da sua recuperação no âmbito da geração de créditos de carbono, bem como, da conservação da biodiversidade.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

## 2.1 Estoque de carbono pelas florestas

As florestas desempenham um importante papel no armazenamento de carbono (TESFAYE, 2016). Contudo, nas últimas décadas, desmatamento, incêndios e a degradação têm contribuído intensamente para o aumento das concentrações de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, e conseqüentemente com as mudanças climáticas (FROLKING et al., 2009; HANSEN et al., 2013). Por essa razão, a quantificação e o monitoramento do sequestro e estoque de carbono pelas florestas, vem despertando a atenção de vários cientistas, como pode ser observado em Seidel et al. (2011), Scolforo et al. (2015), Baccini et al. (2008), e Dube et al. (2018).

O grande apelo pela preservação e restauração das florestas, se deve ao fato de as mesmas fixarem grandes quantidades de carbono, captado da atmosfera, em sua biomassa (FANG et al. 2014). Por esse fato, a quantificação do estoque de carbono contido em fragmentos florestais é essencial para a implementação de políticas de mitigação das mudanças climáticas (SCOLFORO et al., 2015). Estudos a nível mundial estimam que as florestas são responsáveis por cerca de 80% do estoque da biomassa acima do solo (HOUGHTON, 2005), sendo esses valores variáveis em relação ao tipo de vegetação em questão, tamanho populacional e estágio de sucessão da floresta. Diversos outros fatores, como o clima, solo, idade e composição de espécies, também podem influenciar na capacidade de estoque de carbono em ecossistemas florestais (BROWN; LUGO, 1990).

De forma geral, as florestas tropicais são consideradas como o principal sumidouro de carbono (STEPHENS et al. 2007). Pan et al. (2011) estima que o estoque atual de carbono nas florestas do mundo é de 861 Pentagramas, onde aproximadamente 55% (473 Pentagramas) está estocado nas florestas tropicais, principalmente devido a associação com os fatores edafoclimáticos locais que favorecem a produção de biomassa. No caso do Brasil, as principais fitofisionomias são responsáveis por estoques médios de carbono que vão de 5,3 Mg/ha no Campo Cerrado (SCOLFORO et. al., 2008) até 268 Mg/ha na Floresta Amazônica (BROWN; LUGO, 1992). Scolforo et al. (2008) estimaram o estoque de carbono presente na biomassa aérea da vegetação nativa do estado de Minas Gerais e encontraram os seguintes valores médios por fitofisionomia: Floresta Ombrófila: 196,7 Mg/ha, Floresta Estacional Semidecidual: 151,8 MgC/ha, Floresta Estacional Decidual: 38,1 MgC/h, Cerradão: 31,8 MgC/ha, Cerrado *Sensu Stricto*: 14,2 MgC/ha e Campo Cerrado: 5,3 MgC/ha. Essa variação ainda pode ser notada entre fragmentos florestais pertencentes a uma mesma fitofisionomia (DAVIDSON; JANSSENS, 2006).

Diante da possibilidade da utilização das florestas como mitigador de problemas ambientais (climáticos), há a necessidade de uma maior integração entre os responsáveis pela proteção das áreas florestais e o mercado, a fim de maximizar o retorno financeiro e, ao mesmo tempo, garantir a sustentabilidade do estoque de carbono das florestas. A possibilidade de um mercado globalizado, que agregue valor às florestas nativas gerando “créditos de carbono” pode ser um importante aliado para contribuir tanto com a redução nas emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera quanto para a conservação da biodiversidade, criando perspectivas otimistas de expansão para o setor de conservação florestal.

Considerando esses fatores, o Brasil poderá assumir uma posição privilegiada, tanto do ponto de vista das reduções de emissões (evitando o desmatamento e a degradação), quanto potencializando o sequestro de carbono (através de reflorestamentos e recuperação de áreas degradadas), uma vez que possui condições climáticas e de território altamente apropriadas para o desenvolvimento florestal.

## 2.2 Estimativa do estoque de carbono

Dessa maneira, estudos dedicados ao levantamento da estrutura e estoque de carbono em ecossistemas florestais têm papel de destaque nas questões ambientais que envolvem o ciclo do carbono. Normalmente esses estudos envolvem a quantificação do estoque de carbono na biomassa florestal, por meio do emprego de modelos matemáticos nos quais são utilizadas como variáveis de entrada informações levantadas pelo inventário florestal, como diâmetro medido à altura do peito - DAP (1,3 metros acima do solo) e/ou altura das árvores - HT (VIEIRA et al., 2011).

Os inventários florestais são considerados uma ferramenta primordial para se conhecer informações sobre potencial produtivo de uma floresta (VIBRANS; GASPER; MÜLLER, 2012). No caso dos inventários em florestas nativas, além das variáveis dendrométricas (DAP e HT) a identificação botânica e a fitossociologia podem se mostrar extremamente importantes, já que diversos estudos já descreveram a relação entre a conservação/diversidade florestal e altas taxas de estoque de carbono (CHAVE et al. 2014).

A modelagem do estoque de carbono é um processo detalhado, que muitas vezes necessita da realização da amostragem destrutiva (HIGUCHI et al., 2004), que corresponde ao corte dos indivíduos com a intenção de quantificar através de métodos próprios a biomassa total contida. Dessa maneira, ela poderá ser utilizada como variável dependente para os ajustes dos modelos matemáticos. Porém, dados de amostragem destrutiva para florestas nativas são caros e difíceis de serem obtidos (CUBAS et al., 2016).

A estrutura diamétrica da vegetação tem relação direta com a estocagem de biomassa e carbono na comunidade, sendo possível, a partir do diâmetro dos indivíduos, obter estimativas desses estoques de maneira mais simples e prática, sem a necessidade de amostragens destrutivas, por meio do uso de equações alométricas existentes na literatura florestal ajustadas por técnicas de regressão (RIBEIRO et al., 2011; MIGUEL Et al., 2015). Estimativas do estoque de carbono também podem ser feitas baseando-se em estimativas volumétricas dos fustes das árvores, as quais são convertidas inicialmente em biomassa e posteriormente em carbono. Apesar de a literatura fornecer equações que podem ser aplicadas para grandes áreas como a equação Pantropical de Chave et al. (2014), sempre que possível deve-se preferir o uso de equações locais para uma melhor precisão das estimativas obtidas. Nas últimas décadas, com o avanço das geotecnologias e da disponibilidade de dados, principalmente de satélites, novos métodos de estimativas do estoque de carbono em florestas vêm sendo desenvolvidos, permitindo a incorporação aos modelos de parâmetros detectados remotamente (WANG et al. 2009).

A obtenção de estimativas precisas do estoque de carbono em florestas nativas é pré-requisito importante no estabelecimento de ações de valorização econômica desses ecossistemas. Sendo que estimativas fiéis são um desafio em ambientes como as florestas tropicais, devido à grande diversidade de espécies, à alta variabilidade existente entre indivíduos de uma mesma espécie, além da grande variação na forma do tronco dos indivíduos.

### **2.3 Fitossociologia**

A fitossociologia é um ramo da ecologia que visa diagnosticar de forma quantitativa e qualitativa as formações vegetais (ISERNHAGEN, 2001), buscando caracterizar, descrever e compreender a associação e interações entre as espécies vegetais da comunidade no espaço e no tempo. A fitossociologia, portanto, trata dos efeitos da coabitação de plantas em dado ambiente, da estrutura das comunidades vegetais e dos processos que implicam na sua continuidade ou em sua mudança ao longo do tempo (MARTINS, 2003), permitindo a elaboração de estudos quantitativos da composição, estrutura, funcionamento, dinâmica, história, distribuição e relações ambientais da comunidade vegetal. Segundo Andrade et al. (2005), a fitossociologia pode contribuir muito positivamente para o ordenamento e gestão de ecossistemas, como por exemplo na recuperação de áreas degradadas, fornecendo indicativos de sucesso da recuperação quando a área em questão se aproxima dos padrões naturais.

### **2.4 Estrutura horizontal**

A análise dos dados de levantamentos fitossociológicos para uma dada comunidade florestal normalmente buscam descrever a sua: i) estrutura horizontal, que é expressa pela abundância ou densidade, frequência e dominância, ii) estrutura vertical que é a posição sociológica, e iii) a estrutura dendrométrica que é relativa aos parâmetros dendrométricos, como na distribuição diamétrica e distribuição de volume ou área basal por classe diamétrica. Essas análises reúnem várias técnicas, proporcionando informações válidas para a tomada de decisões sobre o manejo da vegetação. O foco deste trabalho será a análise da estrutura horizontal, cujos parâmetros avaliados serão descritos a seguir:

i) Densidade: Número de indivíduos de cada espécie dentro de uma associação vegetal.

a) Densidade absoluta (DA) - representa o número total de indivíduos de uma dada espécie por unidade de área.

$$DA_i = \frac{N_i}{\text{área}}$$

b) Densidade relativa (DR) - representa o número de indivíduos de cada espécie em relação ao número total de árvores.

$$DR = \left( \frac{DA_i}{\sum_{i=1}^s N_i} \right) 100$$

ii) Dominância: é definida como a taxa de ocupação do ambiente pelos indivíduos de uma espécie. Para comunidades florestais, a dominância geralmente é obtida através da área basal que expressa quantos metros quadrados a espécie ocupa numa unidade de área, tendo em vista a alta correlação entre DAP e o diâmetro da copa.

a) Dominância absoluta (DoA)

$$DoA_i = 0,0000785398 \sum_{i=1}^{N_i} D_i^2$$

Onde  $D_i$  é o diâmetro à altura do peito da  $i$ -ésima espécie.

b) Dominância relativa (DoR)

$$DoR_i = \left( \frac{DoR_i}{\sum_{i=1}^s DoR_i} \right) 100$$

iii) Frequência: indica a uniformidade de distribuição das espécies no terreno por ela ocupado, caracterizando estatisticamente sua ocorrência dentro das unidades amostrais.

a) Frequência absoluta (FA)

$$FA_i = \left( \frac{NP_i}{NP_T} \right) 100$$

Onde  $NP_i$  é o número de parcelas que ocorre a  $i$ -ésima espécie e  $NP_T$  é o número de parcelas amostradas.

b) Frequência relativa (FR)

$$FR_i = \left( \frac{FA_i}{\sum_{i=1}^s FA_i} \right) 100$$

iv) Índice de valor de cobertura (IVC): este índice considera a participação da  $DR_i$  e  $DoR_i$  para definir o grau de cobertura na comunidade florestal.

$$IVC_i = DR_i + DoR_i$$

v) Índice de valor de importância (IVI): consiste na soma aritmética dos valores relativos de densidade, dominância e frequência, dando uma indicação da importância da espécie dentro do povoamento, permitindo sua ordenação perante o grau de importância na vegetação.

$$IVI_i = DR_i + DoR_i + FR_i$$

## 2.5 Riqueza, diversidade e equabilidade

Uma das maneiras de quantificar a diversidade de forma simples é por meio da contagem de espécies presentes na amostra. Por outro lado, a

equabilidade é definida como a igualdade relativa dos valores de importância das espécies numa amostra, fornecendo a ideia de como os indivíduos se distribuem entre as espécies de um determinado habitat. Riqueza é a quantidade de espécie se abundância relativa é a quantidade de indivíduos de determinada espécie que ocorre em um local ou em uma amostra (Pianka, 1994, Moreno, 2001).

A variação de espécies existentes em uma área pode ser representada e quantificada de diversas maneiras, a mais comum delas é através dos índices de diversidade. Os índices de diversidade são um dos temas mais abordados entre ecologistas, entre os índices mais utilizados estão o Índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ), Coeficiente de mistura de Jentsch ( $QM$ ), Índice de Simpson ( $S'$ ), entre outros.

- a) Índice de Shannon: fornece a ideia do grau de incerteza em prever qual seria a espécie de um indivíduo da população retirada aleatoriamente. Quanto maior o valor, maior a diversidade florística da área.

$$H' = - \sum_{i=1}^H \frac{n_i}{N} \ln \left( \frac{n_i}{N} \right)$$

Onde  $n_i$  é o número de indivíduos amostrados para a  $i$ -ésima espécie e  $N$  é o número total de indivíduos amostrados.

- b) Coeficiente de mistura de Jentsch: representa o número de indivíduos amostrados em relação às espécies encontradas no povoamento. Quanto maior o valor do índice, maior será a diversidade.

$$QM = \frac{S}{n}$$

Onde  $S$  é o número total de espécies e  $n$  é o número de indivíduos.

- c) Índice de Simpson: fornece a ideia da probabilidade de se coletar aleatoriamente 2 indivíduos da comunidade e eles pertencerem obrigatoriamente a espécies diferentes. Assim, o valor do índice varia na escala entre 0 e 1, sendo que os valores próximos de 1 indicam menor diversidade.

$$S' = 1 - \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$$

- d) Índice de Equabilidade de Pielou: permite representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes, seu valor apresenta uma amplitude de 0 (uniformidade mínima) a 1 (uniformidade máxima).

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

$$H'_{max} = \ln(S)$$

## 2.6 Regeneração natural

A regeneração natural é a forma mais antiga de regeneração de uma floresta. Todas as espécies arbóreas possuem mecanismos que permitem a sua perpetuação no ambiente, respeitando a produção, dispersão e germinação das sementes ou mesmo a brotação de tocos e raízes. Comparados aos demais métodos, a regeneração natural tende a transcorrer de forma mais lenta. Venturoli et al. (2011) considera como barreiras que podem influenciar a regeneração natural a:

- a) Baixa disponibilidade de propágulos;
- b) Predação dos propágulos;
- c) Não existência de microhabitats adequados (umidade e luz);
- d) Baixa disponibilidade de nutrientes no solo;
- e) Competição com vegetação herbácea e/ou gramínea;
- f) Ocorrência de fogo.

A velocidade e direção do processo de regeneração natural de determinada área, está condicionada ao tipo de impacto inicial e também a fatores determinantes, que são as plântulas e brotações presentes na área, o banco de sementes presentes no solo e as sementes introduzidas na área proveniente da vegetação vizinha (HARPER, 1977; UHL et al., 1982; WHITMORE, 1984). Segundo ALVARENGA, A. P. et al., uma das alternativas para recomposição desta vegetação é a condução da regeneração natural, que em muitos casos apresenta-se como uma das alternativas mais promissoras em função dos aspectos ecológico, silvicultural e econômico.

## 2.7 Sucessão ecológica em florestas nativas

A sucessão ecológica é o mecanismo natural que permite que a vegetação se desenvolva em lugares anteriormente inabitados (sucessão primária) ou que se regenere a partir de uma degradação (sucessão secundária) após sofrer intervenções naturais ou antrópicas, como após incêndio, desmatamento, queda de árvores, deslizamento de terra, entre outros (MACIEL et al, 2003). As espécies podem ser classificadas quanto aos seus grupos ecológicos dos estágios de sucessão em quatro fases: i) pioneira, ii) secundária inicial, iii) secundária tardia e iv) clímax.

i) Pioneiras: Privilegiam o rápido crescimento, produzem grande quantidade de sementes, que possuem grande capacidade de dispersão, muitas formam bancos de sementes, colonizam rapidamente o ambiente e são dependentes de luz em grande parte de seu desenvolvimento. Apresentam crescimento muito rápido e ciclo de vida muito curto (aproximadamente 10 anos).

ii) Secundárias iniciais: espécies intermediárias na sucessão. Produzem sementes de tamanho médio, são intolerantes à sombra. Apresentam crescimento rápido e ciclo de vida curto (10 a 25 anos). Regeneração por banco de plântulas.

iii) Secundárias tardias: espécies intermediárias na sucessão, produzem frutos e sementes leves de pequenos e médios, tolerante a sombra no estágio juvenil. Tempo de crescimento médio e ciclo de vida longo (25 a 100 anos). Regeneração por banco de plântulas efêmero.

iv) Clímax: espécies de final de sucessão. Menor produção de sementes. Frutos e sementes grandes e pesados. Germinação e desenvolvimento preferencialmente à sombra. Tempo de crescimento lento ou muito lento. Ciclo de vida muito longo (mais de 100 anos). Regeneração por banco de plântulas.

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As florestas têm grande importância no processo de estoque de carbono. Por sua vez, o desmatamento e degradação florestal aumentam a concentração de carbono na atmosfera. Como consequência, ocorrem as mudanças climáticas e o aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos (tempestades, secas severas, chuvas concentradas, etc...). Logo, a recuperação de áreas degradadas auxilia no controle das concentrações de CO<sub>2</sub> com o sequestro de grandes quantidades desses gases, estocando os mesmos na biomassa florestal em crescimento. Por isso, é importante monitorar as áreas em recuperação para se conhecer a taxa de sequestro de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo e seu comportamento. O processo de sucessão ecológica leva a alterações na composição das espécies, onde espécies pioneiras de rápido

crescimento ao longo dos anos dão lugar a espécies secundárias iniciais, que por sua vez são substituídas pelas secundárias tardias e por fim pelas clímax quando a floresta tem o máximo desenvolvimento possível. Espera-se que as espécies clímax ao longo dos anos passem a ter maior destaque em relação ao estoque de carbono, já que são espécies com maior densidade média da madeira e que como consequência estocam maiores quantidades de carbono por volume de madeira. Portanto, a sucessão ecológica atua de forma a fixar carbono no ambiente, onde durante o processo indivíduos de pequeno porte e de ciclos de vida curtos vão sendo substituídos por espécies de estágios secundários ou clímax de ciclos de vida longo, que apresentam características de maiores densidades e consequentemente mais carbono estocado.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. A. et al. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. *Cerne*, v.11, n.3, p.253-262, 2005.
- BACCINI, A. et al. A first map of tropical Africa's above-ground biomass derived from satellite imagery. *Environmental Research Letters*, v. 3, n. 4, p. 045011, 2008.
- BROWN, Sandra; LUGO, Ariel E. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands. *Plant and Soil*, v. 124, n. 1, p. 53-64, 1990.
- BROWN, Sandra; LUGO, Ariel E.; IVERSON, Louis R. Processes and lands for sequestering carbon in the tropical forest landscape. In: *Natural Sinks of CO<sub>2</sub>*. Springer, Dordrecht, 1992. p. 139-155.
- CHAVE, Jérôme et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology*, v. 20, n. 10, p. 3177-3190, 2014.
- CUBAS, Rafael; WATZLAWICK, Luciano Farinha; FIGUEIREDO, Afonso. Incremento, ingresso, mortalidade em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista em Três Barras-SC. *Ciência Florestal*, v. 26, p. 889-900, 2016.
- DAVIDSON, Eric A.; JANSSENS, Ivan A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, v. 440, n. 7081, p. 165-173, 2006.
- DUBE, Timothy et al. Estimating forest standing biomass in savanna woodlands as an indicator of forest productivity using the new generation WorldView-2 sensor. *Geocarto International*, v. 33, n. 2, p. 178-188, 2018.
- FANG, Jingyun et al. Forest biomass carbon sinks in East Asia, with special reference to the relative contributions of forest expansion and forest growth. *Global change biology*, v. 20, n. 6, p. 2019-2030, 2014.
- FROLKING, Stephen et al. Forest disturbance and recovery: A general review in the context of spaceborne remote sensing of impacts on aboveground biomass and canopy structure. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, v. 114, n. G2, 2009.
- HANSEN, James et al. Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 371, n. 2001, p. 20120294, 2013.
- HIGUCHI, Niro et al. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta*, v. 34, n. 3, 2004.
- HOUGHTON, R. A. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global change biology*, v. 11, n. 6, p. 945-958, 2005.

- ISERNHAGEN, Ingo; SILVA, Sandro Menezes; GALVÃO, Franklin. A fitossociologia florestal no Paraná: listagem bibliográfica comentada. Publicação on line, acessada em, v. 6, 2001.
- MACIEL, Maria de Nazaré Martins et al. Classificação ecológica das espécies arbóreas. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, v. 1, n. 2, p. 69-78, 2003.
- MARTINS, Sueli Sato et al. Effects of selective logging on a semideciduous seasonal forest. *Revista Árvore*, v. 27, n. 1, p. 65-70, 2003.
- MIGUEL, Eder Pereira et al. Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerrado com dados de satélite. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, p. 829-839, 2015.
- NUTTO, Leif; WATZLAWICK, Luciano Farinha. Relações entre fatores climáticos e incremento em diâmetro de *Zanthoxylum rhoifolia* Lam. e *Zanthoxylum hyemale* St. Hil. Na região de Santa Maria, RS. *Pesquisa Florestal Brasileira*, n. 45, p. 41-55, 2002.
- PAN, Yude et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, v. 333, n. 6045, p. 988-993, 2011.
- RIBEIRO, Sabina Cerruto et al. Above-and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, v. 262, n. 3, p. 491-499, 2011.
- SCHUMACHER, M., WITSCHORECK, R., SANQUETTA, C., BALBINOT, R., & ZILIOOTTO, M. (2004). Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas.
- SCOLFORO, J. R. Inventário florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa. Editora UFLA, 2008.
- SCOLFORO, Henrique Ferraco 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. e0128781, 2015.
- SEIDEL, Dominik et al. Review of ground-based methods to measure the distribution of biomass in forest canopies. *Annals of Forest Science*, v. 68, n. 2, p. 225-244, 2011.
- STEPHENS, P. R. et al. Estimation of carbon stocks in New Zealand planted forests using airborne scanning LiDAR. In: *Proceedings of the ISPRS Workshop 'Laser Scanning. 2007.* p. 12-14.
- TESFAYE, Mehari A. et al. Impact of changes in land use, species and elevation on soil organic carbon and total nitrogen in Ethiopian Central Highlands. *Geoderma*, v. 261, p. 70-79, 2016.
- VENTUROLI, Fábio; FELFILI, Jeanine Maria; FAGG, Christopher William. Avaliação temporal da regeneração natural em uma floresta estacional semidecídua secundária, em Pirenópolis, Goiás. *Revista Árvore*, v. 35, p. 473-483, 2011.

VIBRANS, Alexander Christian; DE GASPER, André Luís; MÜLLER, Juarez José Vanni. Para que inventariar florestas? Reflexões sobre a finalidade do inventário florístico florestal de Santa Catarina. *Revista de estudos ambientais*, v. 14, n. 1, p. 6-13, 2012.

VIEIRA, Simone A. et al. Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above-and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. *Ecology and Evolution*, v. 1, n. 3, p. 421-434, 2011.

WANG, Guangxing et al. Mapping and spatial uncertainty analysis of forest vegetation carbon by combining national forest inventory data and satellite images. *Forest Ecology and Management*, v. 258, n. 7, p. 1275-1283, 2009.

While, A. et al. From sustainable development to carbon control: eco-state restructuring and the politics of urban and regional development. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 35, p. 76–93, 2010

MORENO, C.E. Métodos para medir la biodiversidad. *M&T – Manuales y Tesis SEA*, vol. 1. Zaragoza. p. 84, 2001.

ALVARENGA, A. P. ET AL.. Avaliação da regeneração natural na recomposição de matas ciliares em nascentes da região sul de Minas Gerais. *Cerne*, Lavras, v. 12, n. 4, p. 360-372, out./dez. 2006.

PIANKA, E.R. *Evolutionary Ecology*. 5. ed. New York: HarperCollins, 1994

UHL, C.; CLARK, H.; CLARK, H. Successional patterns associated with slash and burn agriculture in upper Rio Negro region of the Amazon Basin. *Biotropica*, [S.l.], v. 14, n. 4, p. 249-254, 1982.

HORLINGS, Ina; Marsden, Terry (2011). Rumo ao desenvolvimento espacial sustentável? Explorando as implicações da nova bioeconomia no setor agroalimentar e na inovação regional. *Sociologias*, Porto Alegre, ano 13, no 27, mai./ago. 2011, p. 142-178

HARPER, J. L. *Population biology of plants*. New York: Academic, 1977. 892 p.

WHITMORE, T. C. *Tropical rain forests dynamics on the far east*. Oxford: CLARENDON, 1984. 352 P.

KEIL, R. Sustaining modernity, modernizing nature: the environmental crisis and the survival of capitalism. In: Krueger, R.; Gibbs, D. (Eds.). *The sustainable development paradox*. London: Guilford, 2007. p. 41-65.

**CAPÍTULO II – ARTIGO**

**Variação temporal do estoque de carbono e da composição florística de um fragmento florestal nativo em Lavras/MG**

**Artigo formatado conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e adaptado às exigências do manual de normalização de trabalhos acadêmicos da UFLA**

## RESUMO

Florestas nativas têm grande destaque no sequestro carbono e podem ser importantes fontes de recursos financeiros com a negociação de créditos de carbono. Assim a recuperação de áreas degradadas e o monitoramento do desenvolvimento dessas áreas será de grande interesse. O objetivo deste trabalho é analisar o estoque de carbono, a composição florística e a estrutura da vegetação, avaliando as alterações que aconteceram na reserva florestal da Universidade Federal de Lavras, conhecida como “Cerradinho” no período entre 1993 e 2018. Para isso, informações coletadas em inventários florestais foram utilizadas para as estimativas de estoque de carbono e cálculo dos parâmetros fitossociológicos, índices de riqueza e equabilidade. Os resultados demonstram um ganho 85% em relação ao estoque de carbono no período analisado, totalizando 64,47 MgC, 236,53 MgCO<sub>2</sub> e 15.618,37 US\$. De forma geral, a floresta aumenta o seu estoque de carbono a cada ano em média 1,9 toneladas, em 7,2 toneladas em CO<sub>2</sub> equivalente e em US \$473,10 em valor monetário. Em relação a composição florística as 10 principais espécies representam aproximadamente 50% dos indivíduos de cada inventário. Nota-se a perda de importância de algumas espécies pioneiras e ganhos das espécies secundárias *Tapirira guianensis* e *Myrcia splendens*. O número de espécies na área teve um crescimento de 39% entre 1993 e 2018. Os valores do índice de diversidade de Shannon (H') variou entre 3,20 e 3,58 no período, indicando que a área em estudo apresenta considerável riqueza de espécies quando comparada com outras áreas da região. Os resultados indicam, apesar de a floresta não ter atingido ainda seu nível máximo de maturidade, que a regeneração da área vem atingindo excelentes resultados em termos de conservação da biodiversidade e tem potencial de gerar créditos de carbono, trazendo resultados satisfatórios em termos financeiros.

**Palavras-chave:** Diversidade; Sucessão ecológica; Equações alométricas.

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas desempenham importante papel no armazenamento de carbono, já que a vegetação, por intermédio do processo de fotossíntese, é responsável pela fixação de CO<sub>2</sub> da atmosfera na biomassa florestal, serviço esse particularmente importante no balanço global de carbono (SCHUMACHER; WISTSCHORECK, et al. 2004; TESFAYE, et al 2016). A partir do Protocolo de Kyoto, em 1997, com o surgimento dos mecanismos de compensação, projetos de recuperação/reflorestamento passaram a ter grande relevância para mitigar o aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera. Segundo previsões científicas, o agravamento do efeito estufa acarretará no aumento da temperatura média da superfície terrestre, o que pode comprometer diversos processos de crescimento e desenvolvimento vegetal. Nutto e Watzlawick (2002) declaram que mesmo pequenas variações na temperatura podem ser capazes de provocar modificações irremediáveis no equilíbrio dos ecossistemas florestais, causando impactos principalmente sobre a mortalidade e sobre a biodiversidade. Considerando as florestas como um grande reservatório de carbono, esses impactos juntamente com aqueles decorrentes das atividades de desmatamento e degradação, podem ser decisivos para a saúde do planeta. O crescimento rápido da produção das indústrias levou ao inevitável aumento da emissão de CO<sub>2</sub>. Entretanto, atualmente há um esforço para reduzir esse potencial de emissão através de melhorias do processo industrial, campanhas e acordos internacionais (Liu et al., 2011). Por isso, o foco da discussão científica nos últimos anos migrou para como intensificar o uso da recuperação de áreas florestais para o sequestro de carbono.

Através dessa análise do cenário, as empresas passam a serem capazes de estudar e promover medidas mitigadoras (Liu et al., 2011). Uma das alternativas propostas é implementar um mercado de compensação, utilizando a quantidade de carbono sequestrada/estocada como uma *commodity*, de forma que os créditos de carbono gerados fossem comercializados, onde aqueles projetos que reduzem a emissão de carbono para a atmosfera, como por exemplo a proteção e/ou recuperação de áreas florestais, poderiam comercializar os créditos relativos a essa redução para compensar outras atividades industriais que não atingiram os níveis de redução estabelecidos, mas até hoje esse cenário não implementado.

Acredita-se que no Brasil, com a prática da certificação do sequestro de carbono, haja possibilidade de obterem-se grandes receitas com a preservação das áreas florestais. O país inclusive sancionou recentemente a Lei Nº14.119/2021 que instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais, que permite legalmente que produtores rurais que conservam suas florestas recebam recursos financeiros como forma de pagamento pelos serviços ambientais. Trata-se de uma forma de incentivo à conservação e ao desenvolvimento sustentável. Isso evidencia o apoio que o mercado de crédito de carbono vem ganhando, existindo muitos mercados que já exigem que as empresas se preocupem com a neutralização das emissões da sua atividade econômica.

Embora o setor florestal possa se beneficiar desse cenário, existe a necessidade de trabalhos científicos evidenciando o real potencial da restauração florestal ao longo dos anos para geração de créditos de carbono. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar as alterações que ocorreram na reserva florestal da Universidade Federal de Lavras, conhecida como “Cerradinho”, em relação ao estoque de carbono e composição das espécies ao longo do período de 1993 a 2018, evidenciando a importância da sua recuperação ao longo dos anos no âmbito da geração de créditos de carbono, bem como, conhecer a composição florística e os parâmetros fitossociológicos da área, fornecendo informações que possibilitem um maior entendimento do processo de regeneração da área.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na área denominada “Reserva de Cerrado *Stricto Sensu* (Cerradinho) da UFLA”, localizada no Campus da Universidade Federal de Lavras, Sul de Minas Gerais - Brasil, sob as coordenadas 21° 13'35,48"S e 44° 59'02,47" W, a uma altitude aproximada de 900 m. O povoamento florestal tem área total de 2,67 ha, e pertence à fitofisionomia Cerrado *Sensu Stricto*, porém se encontra em uma região ecotonal onde se observam espécies relacionadas a diferentes biomas, dentre os mais comuns Mata Atlântica e Cerrado. O clima da região é do tipo Cwa (Köppen), com inverno

seco e verão temperado. As médias anuais de precipitação e temperatura são de, respectivamente, 1.529,5 mm e 19,3°C (mínima de 15,5 °C em julho e máxima de 21,5°C em janeiro), com 80% das chuvas concentradas de outubro a março, enquanto a estação seca se estende de abril a setembro (ALVARES et al., 2013). Atualmente a área se encontra bem conservada, contudo, no passado sofreu vários processos de intemperismo, sendo, portanto, uma vegetação secundária.

## 2.2 Coleta dos dados

Para a obtenção dos dados a área da foi dividida em 46 parcelas por meio de um grid de 20 x 20 metros (400 m<sup>2</sup>), conforme Figura 1. Contudo, ao longo do tempo algumas parcelas foram abandonadas devido a passagem de uma linha de transmissão de energia elétrica pela área, restando 34 parcelas. Foram realizados inventários florestais em 4 diferentes anos (1993, 2000, 2009 e 2018), em cada um deles todos os indivíduos arbóreos com diâmetro medido a 1,30 metros do solo - DAP (Diâmetro a altura do peito) maior que 5 cm (critério de inclusão) tiveram mensurados seu DAP e altura total (HT), e foi identificada botanicamente sua espécie. Nos casos onde não foi possível a identificação em campo, exsicatas foram coletadas para posterior identificação. Todos os indivíduos mensurados receberam uma placa de alumínio para sua identificação nas medições subsequentes contendo o número da árvore e a parcela. Nas medições subsequentes foram mensuradas as árvores sobreviventes e as recrutas (aquelas que atingiram o critério de inclusão durante o intervalo de medição) e identificadas as árvores que morreram.

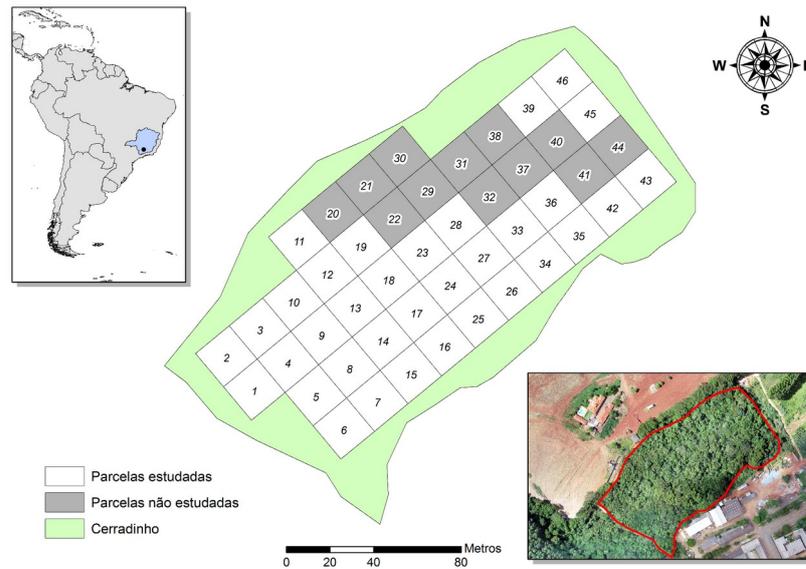


Figura 1 - Mapa com delimitação e distribuição das parcelas na área de estudo.

### 2.3 Quantificação do estoque de carbono

Com as informações dendrométricas obtidas pelos inventários florestais, foi calculado o estoque de carbono (C) existente em cada fuste das árvores (Mg - Megagrama = Tonelada) da área, para cada medição, utilizando a equação para estimativa da quantidade de carbono em toneladas para a fisionomia Cerrado *Sensu Stricto* na região da Bacia do Rio Grande (SCOLFORO et al., 2008), cujas medidas de qualidade do ajuste são Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ): 97,26% e Erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ): 57,48% (Equação 1).

$$\ln(C) = -10,8346535319 + 1,9968275846 \times \ln(DAP) + 0,9053524018 \times \ln(HT) \quad [1]$$

Os valores de estoque de carbono foram convertidos em estoque de  $CO_2$  equivalente utilizando a relação entre a massa molar do  $CO_2$  ( $12 + 2 \times 16 = 44$ ) e do carbono (12), dando origem ao fator de conversão 3,67 (fator de conversão: 1 Mg de carbono = 3,67 Mg de  $CO_2$ ) (NINAN; KONTOLEON, 2016). Essa conversão é interessante, pois representa a quantidade equivalente de gás  $CO_2$  que estaria na atmosfera, mas, contudo, está estocada na biomassa florestal. Outro ponto importante para o uso do  $CO_2$  equivalente é que os créditos de carbono são calculados em função da massa desse gás, onde uma tonelada de  $CO_2$  (1 ton = 1 Mg) equivale a uma unidade métrica de crédito de carbono. Para estimar o valor

de mercado dos potenciais créditos de carbono existentes na área de estudo, utilizou-se a cotação do crédito de carbono no mercado futuro para o dia 1 de novembro de 2021 (€ 56,90 ou US\$ 66,03 considerando o câmbio do dia: 1,1606) obtido no portal financeiro Investing (INVESTING, 2021).

#### 2.4 Composição florística, diversidade e equabilidade de espécies

A análise da composição florística foi feita mediante estudo da estrutura horizontal, expressa pela densidade, frequência e dominância. Onde a densidade evidencia a diferença do número de indivíduos de cada espécie dentro da comunidade, a dominância a taxa de ocupação do ambiente pelos indivíduos de uma espécie e a frequência indica a uniformidade de distribuição das espécies na área. Além desses, foram calculados o Índice de valor de cobertura (IVC), que mede o grau de cobertura da comunidade florestal (Equação 2) e o Índice de valor de importância (IVI) que fornece uma indicação da importância da espécie dentro do povoamento, permitindo sua ordenação perante as demais (Equação 3).

$$IVC_i = DR_i + DoR_i \quad [2]$$

$$IVI_i = DR_i + DoR_i + FR_i \quad [3]$$

Onde  $DR_i$ ,  $DoR_i$  e  $FR_i$  são respectivamente, os valores de densidade relativa, dominância relativa e frequência relativa da espécie em questão.

Já para a análise da variação de espécies existentes na área, foram utilizados os índices de diversidade e de equabilidade. Sendo a equabilidade definida como a forma com que os indivíduos se distribuem entre as espécies de um determinado habitat. Os índices de diversidade utilizados foram o Índice de Shannon -  $H'$  (Equação 4), o Coeficiente de Mistura de Jentsch -  $QM$  (Equação 5), o Índice de Simpson -  $S'$  (Equação 6) e o Índice de Equabilidade de Pielou -  $J'$  (Equação 7).  $H'$  indica a diversidade de uma comunidade em função da incerteza em se prever qual seria a espécie de um indivíduo da população retirada aleatoriamente (quanto maior, maior a diversidade florística da área),  $QM$  faz uma relação entre o número de indivíduos amostrados e as espécies encontradas no povoamento (quanto maior o valor, maior será a diversidade),  $S'$  trabalha com

a probabilidade de se coletar aleatoriamente dois indivíduos da comunidade e eles pertencerem obrigatoriamente a espécies diferentes (varia em uma escala entre 0 e 1, sendo que os valores próximos de 1 indicam menor diversidade) e  $J'$  representa a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes (varia entre 0 que é uniformidade mínima e 1 a uniformidade máxima).

$$H' = - \sum_{i=1}^H \frac{n_i}{N} \ln \left( \frac{n_i}{N} \right) \quad [4]$$

$$QM = \frac{S}{n} \quad [5]$$

$$S' = 1 - \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \quad [6]$$

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}} \quad [7]$$

Onde  $n_i$  é o número de indivíduos amostrados por espécie;  $N$  é o número total de indivíduos amostrados;  $S$  é o número total de espécies e  $n$  é o número de indivíduos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Estoque de carbono ao longo dos anos

A Figura 2 apresenta os valores de estoque de carbono (em Megagramas - Mg), estoque equivalente de CO<sub>2</sub> (Mg) e o valor em dólares referente aos créditos de carbono contidos na biomassa florestal da área de estudo ao longo do período avaliado.

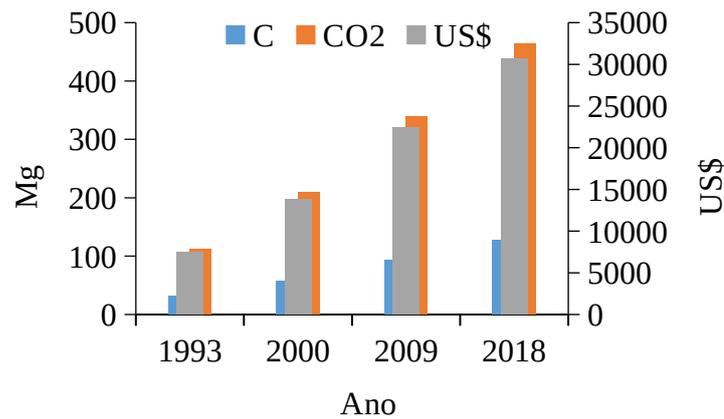


Figura 2: Estoque de carbono, CO<sub>2</sub> equivalente e valor monetário (US\$) ao longo do tempo.

O estoque de carbono total contido na biomassa da parte aérea da vegetação das 34 parcelas inventariadas (34 x 400m<sup>2</sup>=1,36 ha) encontrado no ano de 2018 foi de 64,47 Mg de estoque de carbono, que representam 236,53 Mg de CO<sub>2</sub> equivalente, e que em termos de crédito de carbono teriam o valor de US\$ 15.618,37. Já considerando a área total do fragmento florestal (2,67 ha) os valores de estoque de carbono, CO<sub>2</sub> equivalente e valor em crédito de carbono foram respectivamente: 126,56 Mg; 464,37 Mg e US\$ 30.662,53.

Os valores de estoque de carbono por hectare variaram entre 11,56 Mg/ha em 1993 a 47,70 Mg/ha em 2018, indicando que o estágio de conservação da área influencia sensivelmente a capacidade de estocagem (SANTANA et al., 2013). Observa-se que entre os anos de 1993-2018 a área de estudo teve um ganho de 310% em relação ao estoque de carbono. Considerando separadamente os períodos de 1993 a 2000, 2000 a 2009 e 2009 a 2018 as taxas de crescimento do estoque de carbono foram de 85%; 63% e 36%, respectivamente. A desaceleração do aumento do estoque de carbono demonstra que após 25 anos a área (anteriormente bastante degradada) vem se recuperando, e que apesar de ainda não ter alcançado o seu estoque máximo, tende ao equilíbrio no futuro. Como confirma Mognon, F. et al. (2013), onde a floresta em estudo apresenta leve crescimento em termos de dominância e, conseqüentemente, em biomassa e carbono. Contudo, essas variáveis, ao longo do tempo, apresentaram uma dinâmica próxima do equilíbrio. Em média, a floresta aumenta a cada ano o seu estoque de carbono em 1,43 toneladas por hectare (ton/ha/ano), em 5,26 ton/ha/ano em CO<sub>2</sub> equivalente e em US \$347,18/ha/ano em valor monetário,

considerando os dados do período estudado. Em comparação ao trabalho de Higuchi et al. (2004), eles analisaram a dinâmica de uma floresta primária na Amazônia Central, no período de 1986 a 2000, encontrando valores de estoque de carbono iniciando com 156 t/ha em 1986 e finalizando com 172 t/ha no ano 2000. O fragmento do “Cerradinho” nesses 25 anos e a média de 1,43 (t/ha/ano) de estoque de carbono que aumenta e o trabalho de Higuchi et al. (2004) nos 14 anos de estudo as taxas de crescimento em estoque por ano apresentam similaridades. Watzlawick et al. (2004) realizaram trabalhos no município de General Carneiro, no Paraná, e obtiveram resultados de estoque de carbono no componente arbóreo acima do solo, em Floresta Ombrófila Mista Montana em diferentes níveis de estágio sucessional. Para o estágio inicial, obtiveram um estoque de 28,84 t/ha de carbono, para o estágio médio um estoque de 70,23 t/ha de carbono e para o estágio avançado um estoque de 165,02 t/ha. Fomentando assim uma relação semelhante a este estudo no que se refere a um aumento de estoque de carbono durante o período de estado sucessional de 1993 a 2018. Analisando o principal fator que afeta a capacidade de sequestrar e armazenar carbono na biomassa florestal da área, até o ano 2000 o aumento do estoque estava bastante associado ao crescimento do número de indivíduos por hectare (densidade arbórea), que cresceu 14% no período, contudo a partir do ano 2000 é notada uma diminuição na densidade arbórea de -6% e -26% para os períodos de 2000-2009 e 2009-2018 respectivamente. Assim, os ganhos em estoque de carbono após esse período estão principalmente associados ao ganho em dimensão (DAP) dos indivíduos, sendo notado um aumento do DAP médio de 14%, 22% e 18% respectivamente entre os anos de 1993-2000, 2000-2009 e 2009-2018 (Figura 3).

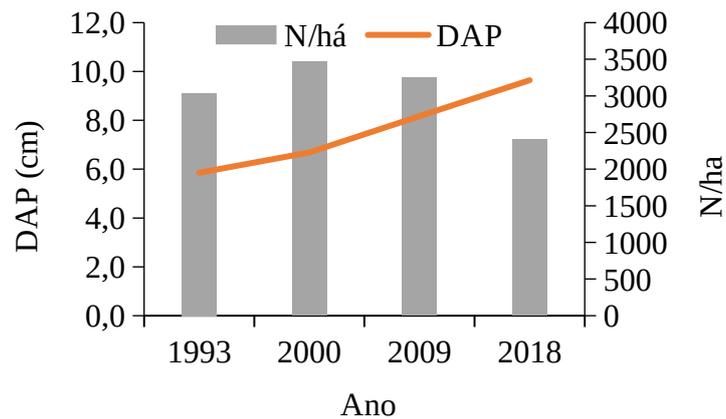


Figura 3: Comportamento da densidade arbórea e do valor médio de diâmetro dos indivíduos ao longo do tempo.

Segundo Santana et al. (2013) a relação entre o número de indivíduos por hectare e o estoque de carbono é importante, mas principalmente em fases iniciais de regeneração essa variável é muito afetada pelo grande número de regenerantes que não conseguem se estabelecer na área devido a competição principalmente por luz, esses indivíduos suprimidos ao longo do tempo morrem gerando a redução da densidade arbórea ao longo do tempo. Isso ocorre porque o maior número de árvores dominadas ocasiona uma diminuição das alturas médias nos povoamentos mais densos, resultados também verificados por Machado et al. (2001) em *Mimosa scabrella* Bent. e Araújo et al. (2012) em plantios de *Eremanthus erythropappus*, em que, em média, notou-se redução da altura total com o aumento da densidade de plantas. No trabalho realizado por Berger et al. (2002), apesar de não existir diferenças significativas entre os tratamentos, o menor crescimento em altura pôde ser observado em consequência de o nível de competição entre os indivíduos ser mais acentuado nas idades mais avançadas. Segundo P.P. de Mattos et al. (2010), o incremento anual em diâmetro em árvores adultas tende a estabilizar ao longo do tempo, antes de atingir o declínio natural, sendo que cada indivíduo ou espécie reflete suas próximas condições e limitações de crescimento.

Em relação aos valores de estoque de carbono por parcela, a Tabela 1 apresenta os valores mínimo, médio, máximo e o coeficiente de variação em porcentagem (CV%) encontrados em cada inventário.

Tabela 1 - Variação de estoque de carbono por hectare entre parcelas da área (valores, mínimos, médio e máximos por parcela e coeficiente de variação).

Valores	Estoque de carbono por hectare (Mg/ha)			
	1993	2000	2009	2018
Mínimo	5,6	11	17,6	24,9
Média	11,6	21,4	34,9	47,4
Máximo	20,5	37,3	66,8	93,2
CV%	34,6	32,8	37,3	34,7

É possível observar que a heterogeneidade entre as parcelas se mostrou estável ao longo do período estudado, indicando a não ocorrência de eventos atípicos ou de ações antrópicas graves na área que tenham comprometido a regeneração da área. Em povoamentos com seis anos de idade de *Eucalyptus grandis* em Viçosa (MG), Paixão et al. (2006) estimaram o estoque médio de carbono em 39,04 t/ha para o fuste sem casca e 3,69 t/ha para os galhos. Em 25 localidades amostradas no Projeto Biogeografia do Bioma Cerrado, Resende & Felfili (2004) e Felfili (2008) verificaram intervalos de 7,44 a 26,54 t/ha e 3,71 a 13,27t/ha, respectivamente, para os estoques de biomassa e carbono no estrato arbóreo. Dados realizados no inventário florestal de Minas Gerais indicaram para o Cerrado sensu stricto do estado um estoque médio de biomassa seca de 30,20 t/ha , que correspondendo ao estoque médio de 14,21 t/ha de carbono(Scolforo et al. 2008bSegundo trabalho realizado por XAVIER (2018), no Cerrado, a estimativa média de produção de biomassa para cada uma das parcelas foi de 70,25 t/ha , 157,98 t/ha , 359,70 t/ha e 13,06 t/ha. Com base no valor de 0,47 para a conversão de biomassa em carbono, obteve-se valores de estoque médio de carbono iguais a 33,02 tC/ha, 74,25 tC/ha , 169,06 tC/ha e 6,14 tC/ha. Apesar das diversidades e longo gradiente de discussão os dados levantados nesse estudo se assemelha em estudos de outros autores, mostrando coesão com os valores vistos. Resende & Felfili (2004) e Felfili (2008) mostram intervalos semelhantes a valores encontrados durante o período por aqui monitorado, de 7,44 a 26,54 t/ha e 3,71 a 13,27t/ha. Igualmente mostrado pelo estudo de Paixão et al. (2006) onde a média apresenta valores semelhantes ao período de 2009 a 2018 por este estudo, onde o estoque médio de carbono foi 39,04 t/ha para o fuste sem casca e 3,69 t/ha para os galhos.

### 3.2 Análise fitossociológica

Ao longo dos 4 inventários realizados na área foram identificadas 124 espécies, pertencentes a 36 famílias. As famílias mais ricas foram Leguminosae (35 espécies), Myrtaceae (14 espécies), Melastomataceae (8 espécies) e Annonaceae (8 espécies), que juntas totalizam 52% dos indivíduos levantados. A análise da composição florística foi realizada através da estrutura vertical (densidade, dominância frequência, IVC e IVI), onde as Tabelas 2, 3, 4 e 5 apresentam as 10 espécies com maior IVI respectivamente para os inventários de 1993, 2000, 2009 e 2018, juntamente com outras 3 espécies que mais se destacaram em relação as alterações dos seus valores IVI ao longo do tempo.

Tabela 2 - Lista com as espécies com maiores valores de índice de valor de importância (IVI) em 1993.

Pos.	Espécie	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	IVC	IVI
1 <sup>a</sup>	<i>Stryphnodendron adstringens</i>	222,1	7,3	2,8	26,3	100,0	4,8	33,6	38,4
2 <sup>a</sup>	<i>Heteropterys byrsonimifolia</i>	379,3	12,5	1,1	9,9	91,4	4,4	22,4	26,8
3 <sup>a</sup>	<i>Platypodium elegans</i>	336,4	11,1	1,1	9,9	91,4	4,4	20,9	25,3
4 <sup>a</sup>	<i>Dalbergia miscolobium</i>	261,4	8,6	0,7	6,8	88,6	4,3	15,4	19,7
5 <sup>a</sup>	<i>Qualea grandiflora</i>	186,4	6,1	0,6	5,8	82,9	4,0	11,9	15,9
6 <sup>a</sup>	<i>Copaifera langsdorffii</i>	148,6	4,9	0,6	5,2	82,9	4,0	10,1	14,1
7 <sup>a</sup>	<i>Acosmium subelegans</i>	110,0	3,6	0,2	2,2	77,1	3,7	5,9	9,6
8 <sup>a</sup>	<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	79,3	2,6	0,2	2,0	88,6	4,3	4,6	8,9
9 <sup>a</sup>	<i>Miconia albicans</i>	95,0	3,1	0,1	1,0	60,0	2,9	4,2	7,0
10 <sup>a</sup>	<i>Machaerium villosum</i>	42,9	1,4	0,1	1,3	68,6	3,3	2,7	6,0
11 <sup>a</sup>	<i>Myrcia splendens</i>	50,7	1,7	0,1	0,9	68,6	3,3	2,5	5,8
12 <sup>a</sup>	<i>Myrcia tomentosa</i>	59,3	2,0	0,1	1,1	48,6	2,3	3,1	5,4
29 <sup>a</sup>	<i>Tapirira guianensis</i>	19,3	0,6	0,0	0,4	20,0	1,0	1,1	2,0

Tabela 3 - Lista com as espécies com maiores valores de índice de valor de importância (IVI) em 2000.

Pos	Espécie	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	IVC	IVI
.									
1 <sup>a</sup>	<i>Stryphnodendron adstringens</i>	193,6	5,6	3,0	19,1	97,1	3,6	24,7	28,3

2 <sup>a</sup>	<i>Heteropterys byrsonimifolia</i>	425,7	12,3	1,9	11,8	94,3	3,5	24,1	27,6
3 <sup>a</sup>	<i>Platypodium elegans</i>	362,9	10,5	1,8	11,4	97,1	3,6	21,9	25,5
4 <sup>a</sup>	<i>Copaifera langsdorffii</i>	165,0	4,8	1,4	9,1	94,3	3,5	13,9	17,4
5 <sup>a</sup>	<i>Dalbergia miscolobium</i>	261,4	7,5	1,0	6,3	91,4	3,4	13,8	17,2
6 <sup>a</sup>	<i>Miconia albicans</i>	294,3	8,5	0,4	2,8	100,0	3,7	11,2	14,9
7 <sup>a</sup>	<i>Qualea grandiflora</i>	195,0	5,6	0,9	5,8	82,9	3,1	11,4	14,5
8 <sup>a</sup>	<i>Myrcia splendens</i>	100,7	2,9	0,4	2,2	88,6	3,3	5,1	8,4
9 <sup>a</sup>	<i>Acosmium subelegans</i>	117,1	3,4	0,4	2,3	74,3	2,7	5,6	8,4
10 <sup>a</sup>	<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	83,6	2,4	0,3	2,0	88,6	3,3	4,4	7,7
11 <sup>a</sup>	<i>Machaerium villosum</i>	74,3	2,1	0,4	2,2	77,1	2,8	4,4	7,2
12 <sup>a</sup>	<i>Myrcia tomentosa</i>	74,3	2,1	0,2	1,3	57,1	2,1	3,4	5,5
16 <sup>a</sup>	<i>Tapirira guianensis</i>	47,1	1,4	0,2	1,1	62,9	2,3	2,4	4,8

Tabela 4 - Lista com as espécies com maiores valores de índice de valor de importância (IVI) em 2009.

Pos.	Espécie	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	IVC	IVI
1 <sup>a</sup>	<i>Platypodium elegans</i>	344,3	10,9	2,6	12,2	94,3	3,4	23,1	26,6
2 <sup>a</sup>	<i>Copaifera langsdorffii</i>	158,6	5,0	3,1	14,2	91,4	3,3	19,3	22,6
3 <sup>a</sup>	<i>Heteropterys byrsonimifolia</i>	281,4	8,9	2,0	9,1	91,4	3,3	18,0	21,3
4 <sup>a</sup>	<i>Miconia albicans</i>	325,0	10,3	0,9	4,0	97,1	3,5	14,3	17,8
5 <sup>a</sup>	<i>Stryphnodendron adstringens</i>	88,6	2,8	1,9	8,9	85,7	3,1	11,7	14,8
6 <sup>a</sup>	<i>Qualea grandiflora</i>	181,4	5,8	1,2	5,5	82,9	3,0	11,2	14,3
7 <sup>a</sup>	<i>Dalbergia miscolobium</i>	212,1	6,7	0,9	4,0	88,6	3,2	10,8	14,0
8 <sup>a</sup>	<i>Myrcia splendens</i>	124,3	3,9	0,9	4,1	94,3	3,4	8,0	11,4
9 <sup>a</sup>	<i>Machaerium villosum</i>	76,4	2,4	0,7	3,1	80,0	2,9	5,5	8,4
10 <sup>a</sup>	<i>Tapirira guianensis</i>	65,0	2,1	0,5	2,5	77,1	2,8	4,6	7,4
11 <sup>a</sup>	<i>Acosmium subelegans</i>	87,9	2,8	0,3	1,6	68,6	2,5	4,4	6,8
12 <sup>a</sup>	<i>Myrcia tomentosa</i>	72,1	2,3	0,3	1,4	57,1	2,1	3,7	5,8
13 <sup>a</sup>	<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	52,1	1,7	0,3	1,3	71,4	2,6	2,9	5,5

Tabela 5 - Lista com as espécies com maiores valores de índice de valor de importância (IVI) em 2018.

Pos.	Espécie	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	IVC	IVI
------	---------	----	----	-----	-----	----	----	-----	-----

1 <sup>a</sup>	<i>Copaifera langsdorffii</i>	170,7	7,3	4,7	20,7	94,3	3,5	28,0	31,5
2 <sup>a</sup>	<i>Platypodium elegans</i>	210,7	9,0	1,9	8,3	88,6	3,3	17,3	20,6
3 <sup>a</sup>	<i>Heteropterys byrsonimifolia</i>	187,9	8,0	1,7	7,5	88,6	3,3	15,5	18,8
4 <sup>a</sup>	<i>Myrcia splendens</i>	165,0	7,1	1,5	6,4	97,1	3,6	13,4	17,0
5 <sup>a</sup>	<i>Miconia albicans</i>	203,6	8,7	0,7	3,0	85,7	3,2	11,7	14,9
6 <sup>a</sup>	<i>Qualea grandiflora</i>	144,3	6,2	1,2	5,2	82,9	3,1	11,3	14,4
7 <sup>a</sup>	<i>Tapirira guianensis</i>	106,4	4,6	1,1	4,7	82,9	3,1	9,2	12,3
8 <sup>a</sup>	<i>Machaerium villosum</i>	75,0	3,2	0,9	4,0	80,0	3,0	7,2	10,1
9 <sup>a</sup>	<i>Myrcia tomentosa</i>	72,9	3,1	0,4	1,8	77,1	2,9	4,9	7,8
10 <sup>a</sup>	<i>Dalbergia miscolobium</i>	65,7	2,8	0,4	1,7	68,6	2,6	4,5	7,1
21 <sup>a</sup>	<i>Acosmium subelegans</i>	40,7	1,7	0,2	0,9	42,9	1,6	2,7	4,3
25 <sup>a</sup>	<i>Stryphnodendron adstringens</i>	8,6	0,4	0,3	1,5	31,4	1,2	1,8	3,0
31 <sup>a</sup>	<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	12,1	0,5	0,1	0,4	40,0	1,5	1,0	2,4

Nos inventários realizados, o somatório do IVI das 10 principais espécies representa 57% para os inventários de 1993 e 2000, 53% para 2009 e 52% para 2018. Segundo Vale et al. (2008) em áreas de cerrado, é típico que exista um pequeno grupo de espécies com alta densidade, enquanto a grande maioria das espécies apresenta baixa densidade, não sendo incomum que 5 a 10 espécies representem 50% do valor de importância.

Nota-se ao longo dos anos uma perda de importância da espécie *Stryphnodendron adstringens* (Barbatimão) em relação ao IVI, fato esse explicado por essa espécie pertencer ao grupo ecológico das pioneiras (SCALON et al. 2014), que apresentam ciclos de vida curtos, e acabam sendo substituídas ao longo do tempo por espécies secundárias e clímax. Ou seja, o crescimento e estabelecimento das espécies pioneiras que são responsáveis pela estabilização do ambiente, propiciando a chegada de espécies de estágios de sucessão avançado até atingir o clímax. As espécies pioneiras apresentam ciclo de vida mais curto que as demais classes, tendo o início da fase reprodutiva mais cedo (WHITMORE, 1989). E em outra conclusão, os indivíduos clímax foram amostrados em menor proporção entre os regenerantes nas duas áreas, possivelmente porque apresentam característica de ciclo de vida mais longo e respectivo início da fase reprodutiva mais tardia (WHITMORE, 1989). Assim,

nos plantios de recuperação de áreas degradadas é comum utilizar-se espécies de diferentes estágios sucessionais, pois essas apresentam diferentes comportamentos tanto em crescimento quanto em funções ecológicas (ARAÚJO et al., 2005). O mesmo comportamento de redução do IVI é notado para outras espécies também pioneiras como *Dalbergia miscolobium* (Caviúna do Cerrado) (SOUZA, 2018), *Acosmium subelegans* (Perobinha-do-campo) e *Handroanthus chrysotrichus* (Ipê-amarelo-cascudo) (POTT & POTT, 2003). Espécies como *Heteropterys byrsonimifolia* (Nó-de-cachorro) e *Myrcia tomentosa* (Goiaba-brava) - pioneiras (ALVARENGA et al., 2016) e *Platypodium elegans* (Uruvalheira), *Machaerium villosum* (Jacarandá-do-mato) e *Qualea grandiflora* (Pau-terra), classificadas como não pioneiras (BARRETO et al. 2015), mantiveram estáveis suas posições, no grupo das espécies com maiores IVI. Enquanto *Miconia albicans* (Pixirica) - pioneira, juntamente com *Copaifera langsdorffii* (Copaíba), *Myrcia splendens* (Guamirim) e *Tapirira guianensis* (Pau-pombo) - secundárias (BOSA et al. 2015) foram as espécies que mais ganharam importância ao longo dos anos na área, com destaque para *Tapirira guianensis* e *Myrcia splendens* que aumentaram seu IVI respectivamente em 5 e 2 vezes entre 1993 e 2018. A Figura 4 apresenta o comportamento do IVI das principais espécies da área de estudo ao longo do tempo.

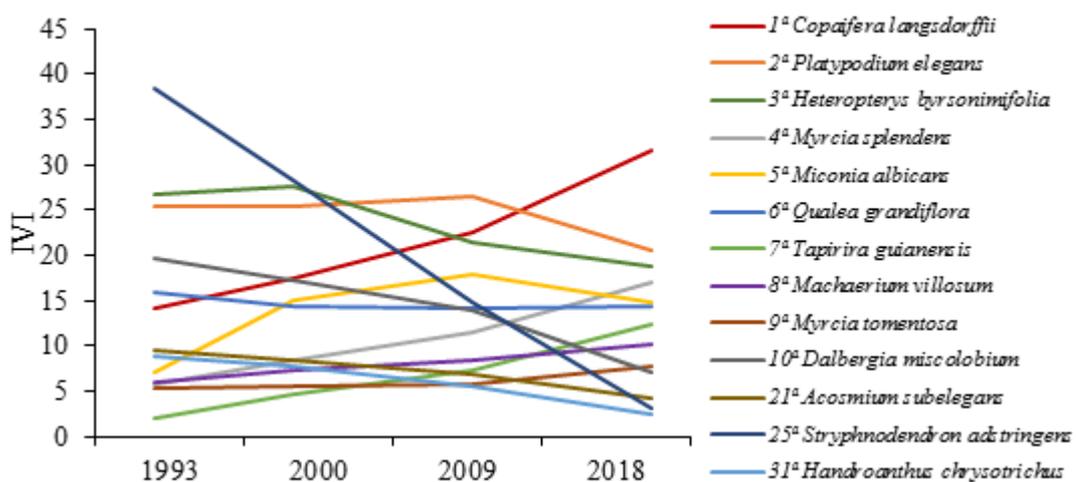


Figura 4: Comportamento do IVI das principais espécies da área de estudo ao longo do tempo.

Como a maior parte das espécies com maiores IVI pertence ao grupo de espécies pioneiras (mesmo com a queda identificada), pode-se avaliar que a recuperação da área está entre um estágio inicial e intermediário de regeneração. Toniato & Oliveira-Filho (2004) afirmam que o predomínio de pioneiras é um dos principais indicativos de áreas de vegetação secundária, enquanto a sua ausência remete a um estágio de floresta mais madura. As espécies de início da sucessão desempenham um papel importante em ambientes perturbados como as áreas em recuperação, pois apresentam rápido crescimento, ciclo de vida curto, produzem muitas sementes dispersas por agentes generalistas e formam banco de sementes com viabilidade por longo período (BOSA et al. 2015). No outro extremo das pioneiras, têm-se as clímax, que são as espécies finais da sucessão. Entre os dois extremos, existe grande número de espécies com características ou adaptações ecológicas intermediárias. Quando as características se aproximaram mais com as das pioneiras, essas espécies são chamadas de secundárias iniciais; quando apresentam características mais próximas das espécies clímax, são denominadas secundárias tardias (BOSA et al. 2015).

Torres et al. (2017) avaliando a estrutura de comunidades de cerrado *sensu stricto* no sul de Minas Gerais encontrou como as espécies mais importantes em IVI ( $> 10$ ) *Dalbergia miscolobium*, *Platimenia reticulada*, *Stryphnodendron adstringens*, *Bowdichia virgilioides*, *Xylopia aromatica*, *Erythroxylum suberosum*, *Heteropterys byrsonimifolia*, *Byrsonima coccolobifolia*, *Schefflera macrocarpa*, *Peltophorum dubium*, *Miconia ferruginata* e *Byrsonima verbascifolia*, apresentando certa relação com as espécies encontradas por esse trabalho. A Tabela 6 apresenta os índices de riqueza e diversidade por medição para a área de estudo.

Tabela 6 - Índices de riqueza e diversidade por medição.

Índice	Composição florística por medição			
	1993	2000	2009	2018
Espécies	81	91	100	113
N	4249	4854	4421	3274
H'	3,2	3,43	3,47	3,58
QM	0,02	0,02	0,02	0,03
S'	0,93	0,95	0,95	0,95

J'	0,73	0,76	0,75	0,76
----	------	------	------	------

O número de espécies na área teve um crescimento de 39% entre 1993 e 2018, isso refletiu em um pequeno aumento dos índices de diversidade, principalmente analisando os valores do índice de diversidade de Shannon (H'). Já em o índice de equabilidade de Pielou (J') não apresentou grandes alterações. D'angelo Neto et al., (1998) encontrou para essa mesma área um valor de H' de 3,289, com destaque para os indivíduos de *Bowdichia virgiloides*, *Dalbergia miscolodium* e a *Qualea grandiflora*. Torres et al. (2017) avaliando comunidades de Cerrado *sensu stricto* no sul de Minas Gerais encontrou valores de H' de 3,19 enquanto a J' de 0,83. Vale et al. (2008), realizando levantamento florístico em uma mata de galeria do bioma Cerrado encontrou valores de H' de 3,66 e J' de 0,85, estudo esses indicando valores de diversidade e equitabilidade semelhantes ao encontrados na área de estudo. Em relação ao número de espécies, Torres et al. (2017) afirmam que o padrão observado para os cerrados *sensu stricto* do sul de Minas Gerais estão entre 70 a 85 espécies, indicando que a área em estudo apresenta considerável riqueza de espécies.

#### 4 CONCLUSÕES

O co-estudo dos dados de estoque de carbono e de dinâmica da vegetação permite uma melhor compreensão de como os fenômenos ecológicos influenciam no crescimento da floresta. O processo de substituição de espécies pioneiras durante a sucessão ecológica, junto ao recrutamento de novos indivíduos e o crescimento dos indivíduos das espécies secundárias está diretamente relacionado com o aumento do estoque de carbono ao longo dos anos. A identificação do estágio de conservação também se mostra fundamental para avaliar se o estoque de determinado local está adequado ou não. Considerando a área total do fragmento os valores de estoque de carbono, CO<sub>2</sub> equivalente e valor em crédito de carbono foram respectivamente: 126,56 t; 464,37 t e US\$ 30.662,53. Os valores de estoque de carbono por hectare variaram entre 11,56 t/ha em 1993 a 47,70 t/ha em 2018, indicando que o estágio de conservação da área influencia sensivelmente a capacidade de estocagem. Em média, a floresta aumenta a cada ano o seu estoque de carbono em 1,43 toneladas por hectare (t/ha/ano), em 5,26

t/ha/ano em CO<sub>2</sub> equivalente e em US \$347,18/ha/ano em valor monetário, considerando os dados do período estudado.

## REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Auwdreia et al. Regeneração natural em nascentes degradadas. *Enciclopédia Biosfera*, v. 13, n. 23, 2016.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BOSA, Dolores Martins et al. Florística e estrutura do componente arbóreo de uma Floresta Ombrófila Densa Montana em Santa Catarina, Brasil. *Revista Árvore*, v. 39, p. 49-58, 2015.

D'ANGELO NETO, SANTOS et al. Avifauna de quatro fisionomias florestais de pequeno tamanho (5-8 ha) no campus da UFLA. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 58, n. 3, p. 463-472, 1998.

INVESTING, 2021. Crédito Carbono Futuros. Disponível em: <https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data/>. Acesso em: 01 de nov. de 2021.

NINAN, K. N.; KONTOLEON, Andreas. Valuing forest ecosystem services and disservices—Case study of a protected area in India. *Ecosystem services*, v. 20, p. 1-14, 2016.

NUTTO, Leif; WATZLAWICK, Luciano Farinha. Relações entre fatores climáticos e incremento em diâmetro de *Zanthoxylum rhoifolia* Lam. e *Zanthoxylum hyemale* St. Hil. Na região de Santa Maria, RS. *Pesquisa Florestal Brasileira*, n. 45, p. 41-55, 2002.

POTT, A.; POTT, V. J. Espécies de fragmentos florestais em Mato Grosso do Sul. In: Costa, R. B. da (org.). *Fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na região Centro-Oeste*. Campo Grande: UCDB, 2003. p. 26-52.

SANTANA, Otacilio Antunes et al. Relação entre o índice de avermelhamento do solo e o estoque de carbono na biomassa aérea da vegetação de cerrado. *Ciência Florestal*, v. 23, n. 4, p. 783-794, 2013.

SCALON, Silvana de Paula Quintão et al. Condicionamento fisiológico e níveis de sombreamento em sementes de barbatimão (*Stryphnodendron polyphyllum* (Mart.) e *S. adstringens* (Mart.) Coville). *Revista Árvore*, v. 38, p. 145-153, 2014.

SCHUMACHER, M., WITSCHORECK, R., SANQUETTA, C., BALBINOT, R., & ZILIOOTTO, M. (2004). Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas.

SCOLFORO, J. R. Inventário florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa. Editora UFLA, 2008.

SCOLFORO, J. R. S. MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. Cerrado: Florística, Estrutura, Diversidade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal. Lavras: Editora UFLA, 2008. 816P.

SOUZA, P. C. G. Riqueza florística e diversidade funcional da flora lenhosa em Cerrado sentido restrito e áreas revegetadas com lodo de esgoto. 2018.

TESFAYE, Mehari A. et al. Impact of changes in land use, species and elevation on soil organic carbon and total nitrogen in Ethiopian Central Highlands. *Geoderma*, v. 261, p. 70-79, 2016.

TONIATO, Maria Teresa Zugliani; DE OLIVEIRA-FILHO, Ary T. Variations in tree community composition and structure in a fragment of tropical semideciduous forest in southeastern Brazil related to different human disturbance histories. *Forest Ecology and Management*, v. 198, n. 1-3, p. 319-339, 2004.

TORRES, Daniel Mendonça; FONTES, Marco Aurélio Leite; SAMSONAS, Henrique do Prado. Soil-vegetation relationships in structuring cerrado sensu stricto communities in southern Minas Gerais, Brazil. *Rodriguésia*, v. 68, n. 1, p. 115-128, 2017.

VALE, Vagner Santiago et al. Estrutura fitossociológica e grupos ecológicos em mata de galeria do Bioma Cerrado. 2008. XAVIER, Maria Clara Jesus. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma unidade fitofisionômica de Cerrado no Centro-Oeste de Minas Gerais. 2018. 70 f. Monografia (graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

LIU, X., ZHU, B., ZHOU, W., HU, S., CHEN, D., GRIFFY-BROWN, C., “CO2 emission in calcium carbide industry: An analysis of China’s mitigation potential”, *international Journal of Greenhouse Gas Control*, v. 5, n.5, p. 1240-1249, 2011.