



MATHEUS DE ALMEIDA SANTOS

**DIFERENTES USOS DO SOLO E SEU IMPACTO NO ESTOQUE DE
CARBONO NA ESCALA DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS**

**LAVRAS – MG
2023**

MATHEUS DE ALMEIDA SANTOS

**DIFERENTES USOS DO SOLO E SEU IMPACTO NO ESTOQUE DE CARBONO NA
ESCALA DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS**

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

Dr. Otavio Camargo Campoe
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

MATHEUS DE ALMEIDA SANTOS

**DIFERENTES USOS DO SOLO E SEU IMPACTO NO ESTOQUE DE CARBONO NA
ESCALA DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS**

**DIFFERENT SOIL USES AND THEIR IMPACT ON CARBON STOCK AT MICRO
WATERSHED SCALE**

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

APRESENTADO em 13 de Julho de 2023.

Dr. Otavio Camargo Campoe	UFLA
Ms. Rildo Moreira e Moreira	ESALQ/USP
Dra. Anny Francielly Ataide Gonçalves	BRACELL

Dr. Otávio Camargo Campoe
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

A minha família, pois sem eles eu não seria capaz de estar onde estou e concluir uma fase tão importante da minha vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus por todas as bênçãos concedidas em minha vida.

Aos meus pais, José Roberto dos Santos e Adelina Andrade de Almeida Santos e minha vó Edecy Ribeiro de Almeida por serem a base que me permite correr atrás dos meus sonhos todos os dias, mesmo diante dos obstáculos enfrentados no caminho.

A minha namorada Eduarda Cristina da Silveira Costa, por todos esses anos de companheirismo, me apoiando e incentivando a sempre ser melhor a cada dia que passa.

Ao meu amigo Danilo por essa amizade sólida que temos desde que éramos crianças, sempre me aconselhando e ajudando quando precisei.

A Universidade Federal de Lavras por me ensinar e me capacitar ao longo de todos esses anos.

Aos meus colegas de turma por todos os bons momentos que fizeram parte da minha trajetória acadêmica.

Ao meu orientador Otavio Camargo Campoe, pelas oportunidades dadas a mim de poder desenvolver não somente um projeto de Iniciação Científica a alguns meses atrás, como também esse trabalho de conclusão de curso.

Aos colegas do laboratório de silvicultura por terem me ajudado muito na elaboração deste trabalho.

Ao Instituto de Pesquisas Florestais – IPEF e ao PROMAB pela oportunidade de fazer um estágio excelente e aprender muito sobre diversos temas da área florestal.

A toda a equipe de coordenadores do Projeto NewFor, a FAPESP e as organizações parceiras que colaboraram com o projeto original.

A ESALQ-USP e a Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI), por me derem condições de instalação no local da coleta de dados e todo apoio para a realização desse trabalho.

Ao meu co-orientador, Rildo Moreira e Moreira e a Anny Francielly Ataide Gonçalves por todo apoio e por terem aceitado fazer parte desta banca de avaliação.

RESUMO

Diante da enorme importância ambiental acerca da dinâmica do carbono em diferentes configurações florestais, sejam elas florestas plantadas ou nativas, e dos poucos estudos dessa mesma dinâmica em escalas menores como as microbacias hidrográficas, objetivou-se com esse estudo, analisar as quantidades de carbono estocado na parte aérea em três microbacias. Para isso, foi realizado um inventário florestal em diferentes usos do solo em três microbacias da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga. Para isso foram instaladas 3 parcelas por cada uso do solo e medidos os valores de todos os DAP e das alturas das 5 maiores árvores, das 5 menores árvores e das 5 árvores médias no caso dos eucaliptos e todas as alturas no caso das nativas. Foram então ajustados os parâmetros do modelo de Curtis para estimativa das alturas das demais árvores. Após os cálculos de volume, biomassa (utilizando o fator 0.44) e carbono (utilizando o fator 0.47), foi possível constatar diferenças na quantidade de estoque médio de carbono nas microbacias. A maior média geral encontra-se na microbacia do Monjolinho, sendo está de $91,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, seguida da Virada, com $34,9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e Forquilha, com $32,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Estes valores divergem devido aos diferentes usos do solo em cada uma dessas microbacias. Essa quantidade foi maior em florestas predominantemente nativas e menor em plantios comerciais de eucalipto, sendo que, nos plantios mais novos houve uma menor quantidade em relação aos mais velhos, cujas médias foram, respectivamente, $22,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $73,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Os plantios que possuem consórcio de eucaliptos com nativas apresentaram valores medianos tanto de biomassa quanto carbono.

Palavras-chave: Biomassa. Carbono. Eucalipto. Nativas. Microbacia.

ABSTRACT

Given the enormous environmental importance of carbon dynamics in different forest configurations, whether planted or native forests, and the few studies of this same dynamic on smaller scales such as watersheds, the aim of this study was to analyze the amounts of carbon stored in the aerial part in three micro watersheds. For this, a forest inventory was carried out in different land uses in three watersheds of the Itatinga Forestry Science Experimental Station. For this, 3 plots were installed for each land use and the values of all DBH and the heights of the 5 largest trees, the 5 smallest trees and the 5 medium trees in the case of eucalyptus and all heights in the case of native trees were measured. The Curtis model parameters were then adjusted to estimate the heights of the other trees. After calculating the volume, biomass (using the factor 0.44) and carbon (using the factor 0.47), it was possible to verify differences in the amount of average carbon stock in the watershed. The highest general average is found in the Monjolinho watershed, which is 91.5 Mg.ha^{-1} , followed by Virada, with 34.9 Mg.ha^{-1} and Forquilha, with 32.1 Mg.ha^{-1} . These values differ due to the different land uses in each of these watersheds. This amount was higher in predominantly native forests and lower in commercial eucalyptus plantations, and in the newer plantations there was a smaller amount in relation to the older ones, whose averages were, respectively, 22.2 Mg.ha^{-1} and 73.5 Mg.ha^{-1} . The plantations that have a consortium of eucalyptus with native species showed median values for both biomass and carbon.

Keywords: Biomass. Carbon. Eucalyptus. Native. Micro Watershed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de uma Bacia Hidrográfica e suas sub-divisões.	13
Figura 2 – Mapa de Localização das Microbacias estudadas.	15
Figura 3 – Mapa de distribuição das parcelas da Monjolinho.	16
Figura 4 – Mapa de distribuição das parcelas da Forquilha e Virada.	17
Figura 5 – Exemplo das fotos tiradas em cada parcela.	18
Figura 6 – Análise de distribuição de valores de DAP e Biomassa.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Usos do solo nas diferentes parcelas de inventário.	17
Tabela 2 – Parâmetros estimados pelo modelo.	19
Tabela 3 – Valores de Biomassa e Carbono para as parcelas na MB Monjolinho.....	23
Tabela 4 – Quantificação de biomassa e carbono na microbacia Forquilha.	24
Tabela 5 – Quantificação de biomassa e carbono na microbacia Virada.	24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Sequestro e Estoque de carbono	12
2.2	Diferentes usos do solo.....	12
2.3	Bacias e Microbacias Hidrográficas	13
3	METODOLOGIA.....	14
3.1	Caracterização da área	14
3.2	Alocação de parcelas	15
3.3	Coleta de dados.....	18
3.4	Processamento de dados	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
5	CONCLUSÕES	25
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
	ANEXO A – Talhão 27 parcela 1.....	29
	ANEXO B – Talhão 27 parcela 2.....	30
	ANEXO C – Talhão 27 parcela 3.....	31
	ANEXO D – Talhão 28	32
	ANEXO E – Talhão 29.....	33
	ANEXO F – Talhão 30.....	34
	ANEXO G – Talhão 31	35

1 INTRODUÇÃO

A temática da preservação ambiental tem se mostrado cada vez mais relevante na atualidade, uma vez que diversos temas se entrelaçam neste assunto, como as mudanças climáticas, a utilização dos recursos naturais e a proteção da diversidade biológica. A temática acerca do carbono tem ganhado destaque nos estudos ambientais, visto que é considerado um dos principais fatores responsáveis pelas transformações climáticas mundiais, tornando-se um tema importante para a preservação ambiental.

Os plantios comerciais de floresta, além de contribuírem significativamente para o desenvolvimento econômico em países tropicais, são mais eficientes em sequestrar carbono atmosférico, devido ao seu rápido crescimento. No entanto, as florestas de rápido crescimento apresentam maior produtividade, e por consequência, maior consumo de água e maiores taxas de evapotranspiração (AMAZONAS et al., 2018; FARLEY et al., 2005). A respeito das florestas nativas, também há indícios de um elevado consumo hídrico e seu manejo pode ocasionar alterações na qualidade de água dos riachos (MALMER, 1996; BINKLEY; BURNHAM; ALLEN, 1999; QUINN; STROUD, 2002; DRINAN et al., 2013). Nesse sentido, destaca-se a importância do monitoramento das florestas na escala da microbacia, tanto em termos de consumo de água, quanto de produção de biomassa e estoque de carbono.

Embora essa temática do carbono seja amplamente discutida nos estudos atuais, pouco se sabe sobre seu comportamento em de microbacias hidrográficas. A forma com que diferentes configurações de usos do solo causam mudanças no crescimento da vegetação e por consequência na capacidade de armazenamento de carbono nessas microbacias ainda é pouco estudado mesmo possuindo muita importância na tomada de decisão sobre quais tipos de manejo adotar nessas áreas e seu impacto na conservação dos recursos naturais.

Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar as diferentes quantidades de estoque de carbono nos diferentes usos do solo em três Microbacias, sendo eles: plantios comerciais de eucalipto com 2 e 6 anos de idade, vegetação nativa e plantios mistos de eucalipto com espécies nativas na Estação de Experimental de Ciências Florestais da ESALQ, localizada no município de Itatinga-SP.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sequestro e Estoque de carbono

As florestas fornecem vários serviços ambientais, dentre eles pode-se citar o sequestro e estoque de carbono, tendo em vista o atual cenário de intensificação do efeito estufa e, por consequência, o aquecimento o global.

As plantas fixam C via fotossíntese, a partir do CO₂ que as mesmas capturam da atmosfera, processo chamado de sequestro de carbono, que passa a constituir suas moléculas estruturais e funcionais (estoque de carbono). Os ecossistemas terrestres acumulam C no decorrer da sucessão, porém, este acúmulo declina enquanto as florestas atingem a maturidade (SCHOLLES; NOBLE, 2000). Florestas mais jovens, embora sejam capazes de sequestrar maiores quantidades de carbono, possuem menores quantidade desse carbono estocado em sua biomassa, pois utilizam esse carbono em seus processos fisiológicos de desenvolvimento, o que ocorre de forma contrária em florestas mais antigas, onde a capacidade de sequestro é menor, porém a capacidade de estoque é maior. A entrada de C orgânico no solo depende da entrada de material orgânico através da senescência de certos componentes da biomassa acima e abaixo do solo, queda das folhas, resíduos da exploração e animais mortos, com suas respectivas taxas de decomposição. A deposição e a subsequente decomposição da fitomassa é o principal caminho para a transferência de C e nutrientes da planta para o solo (SCHUMACHER et al., 2004). Neste sentido, ressalta-se o papel das florestas naturais e dos plantios florestais como ferramentas úteis de sequestro e fixação de Carbono, podendo influenciar a sua distribuição nos diferentes componentes do material orgânico do ecossistema, tais como solo, serapilheira, raízes e biomassa (COSTA et al., 2005).

2.2 Diferentes usos do solo

Os diferentes tipos de usos do solo podem impactar as formas do estoque de carbono. A diferença no estoque de carbono entre cultivos de eucalipto e vegetação nativa pode variar dependendo de vários fatores, como idade e espécie das árvores, práticas de manejo, clima e localização geográfica. No que se refere a biomassa aérea (troncos, galhos e folhas das árvores), as florestas nativas tendem a armazenar mais carbono em comparação com os cultivos de eucalipto. Isso ocorre porque as florestas nativas são compostas por uma grande diversidade de espécies e geralmente possuem árvores de diferentes idades e estágios de crescimento, o que resulta em uma maior acumulação de biomassa aérea ao longo do tempo.

A idade da floresta proporciona uma variação no aporte e na contribuição de galhos, cascas, folhas na composição da serapilheira (BARRETO et al., 2008; FARIA et al., 2008) e na taxa de ciclagem das raízes (FARIA et al., 2008; GONÇALVES et al., 2012).

2.3 Bacias e Microbacias Hidrográficas

A bacia hidrográfica é como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios, sendo que as cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas e à medida que as águas dos riachos descem, juntam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios, esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até desembocarem no oceano (Barrella, 2001).

As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal. Para definir sua área os autores utilizam-se de diferentes unidades de medida. Para Faustino (1996), as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km², já para Rocha (1997, apud MARTINS et al., 2005), são áreas entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 km² a 300 km²).

As microbacias possuem toda sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, várias microbacias formam uma sub-bacia. Possuem a área inferior a 100 km² (FAUSTINO, 1996).

Figura 1 – Esquema de uma Bacia Hidrográfica e suas sub-divisões.



Fonte: Freitas (2015).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área

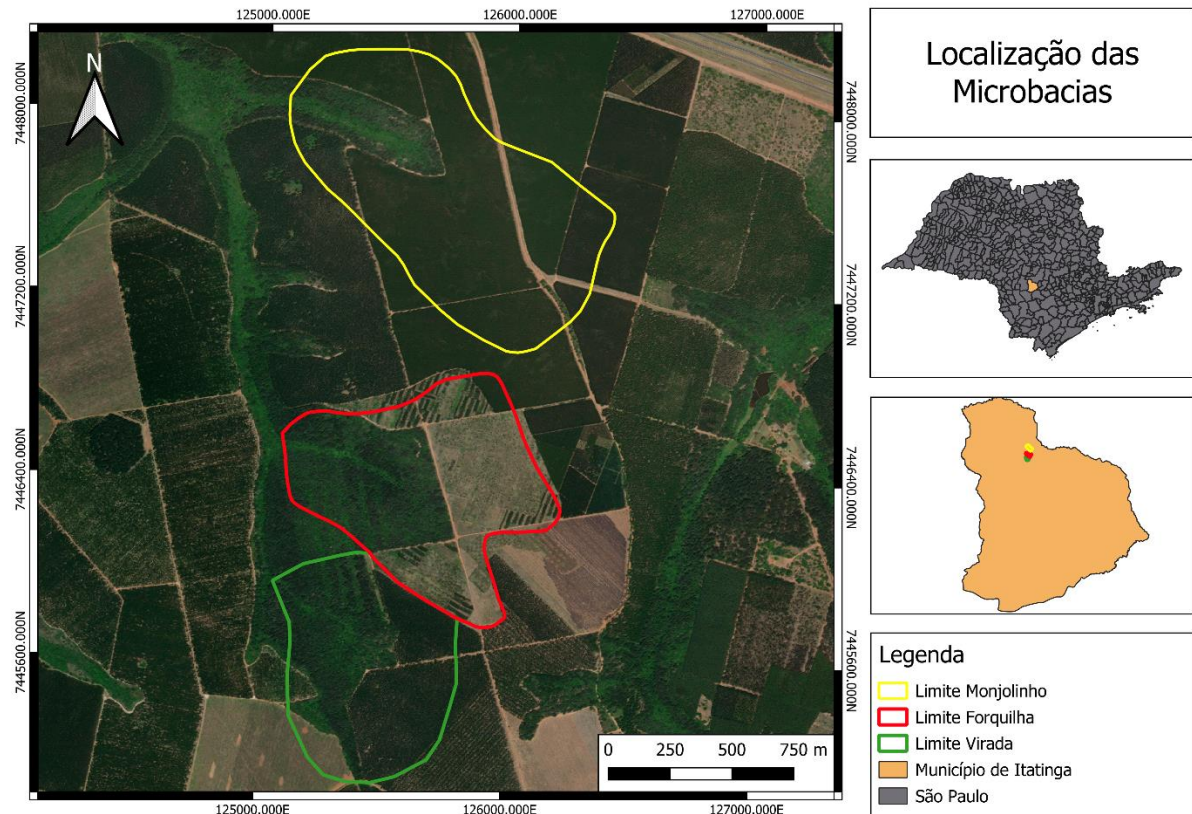
As microbacias estudadas nesse trabalho estão localizadas na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI), da Universidade de São Paulo, no município de Itatinga-SP. A estação encontra-se à latitude de 23°10' S, longitude de 48°40' W, altitude média de 850 metros, possuindo uma área total de 2.118 hectares (GONÇALVES et al., 2012).

O clima da região é do tipo Cwa, sendo este temperado úmido com invernos secos e verões quentes, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, com temperatura média anual de 19,4° C e precipitação média anual de 1.319 mm (ALVARES et al., 2013). A área está localizada em uma região de transição entre Mata Atlântica e Cerrado.

A microbacia do Monjolinho é composta principalmente por plantios comerciais de eucalipto para produção de celulose e possui área de 98,79 ha, sendo que 12,85 ha são ocupados por floresta nativa e os 85,94 ha restantes estão divididos em seis talhões de florestas plantadas com quatro materiais genéticos e duas idades distintas (dois e seis anos). Os talhões comerciais são conduzidos até um ciclo de sete anos.

A microbacia da Forquilha possui uma área de 72,44 ha composta por 19,92 ha de área ripária em processo de restauração, 7,72 ha de experimentos com espécies nativas e eucaliptos, 6,03 ha também sendo de nativas com eucaliptos, 5,64 ha de plantio comercial e 30,33 ha de monocultivo abandonado. Já a microbacia da Virada possui uma área de 56,36 ha, sendo 26,7 ha de monocultivo abandonado, 23,2 ha de plantio comercial.

Figura 2 – Mapa de Localização das Microbacias estudadas.



Fonte: Google Satellite (2023).

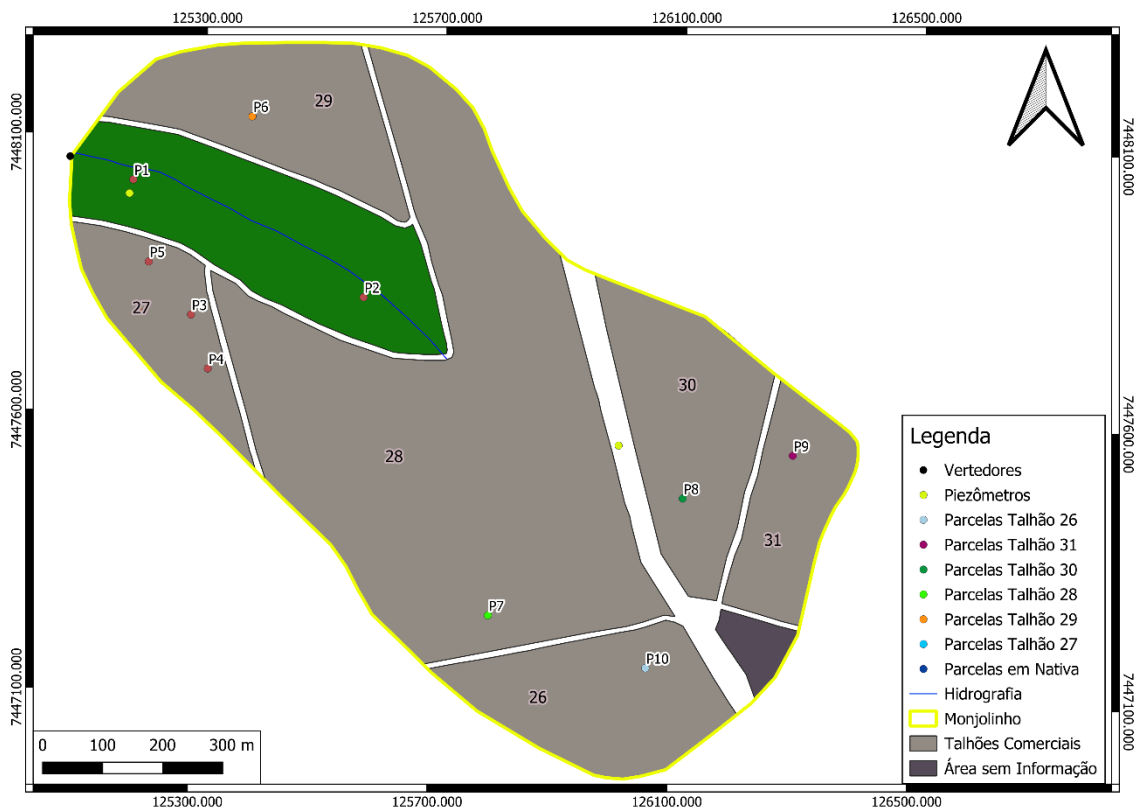
3.2 Alocação de parcelas

As parcelas deste estudo foram alocadas de acordo com os diferentes usos e ocupação do solo, sendo estes, uso por vegetação nativa e uso por talhão comercial de eucalipto. Foram lançadas 3 parcelas por uso do solo, sempre que possível. Foram utilizadas parcelas de 30x30m, distantes no mínimo 60 metros entre si. As parcelas foram instaladas a uma distância de no mínimo 30 metros das bordas dos polígonos, pois as condições diferenciadas de luz, vento e umidade das bordas impactam diretamente nas variáveis a serem avaliadas nas parcelas. Estes critérios seguiram como base o Projeto NewFor, um projeto que objetiva avaliar a multifuncionalidade de diferentes tipos de florestas presentes no estado de São Paulo, dando apoio à restauração florestal em larga escala (NewFor, 2019).

Na microbacia do Monjolinho ao todo, foram alocadas onze parcelas distribuídas aleatoriamente dentro de cada talhão, por meio do software QGIS. A área de vegetação nativa recebeu duas parcelas e o talhão mais novo recebeu três parcelas, já o restante recebeu uma parcela por talhão. Essa diferença no número de parcelas ocorreu devido ao fato de as diferentes

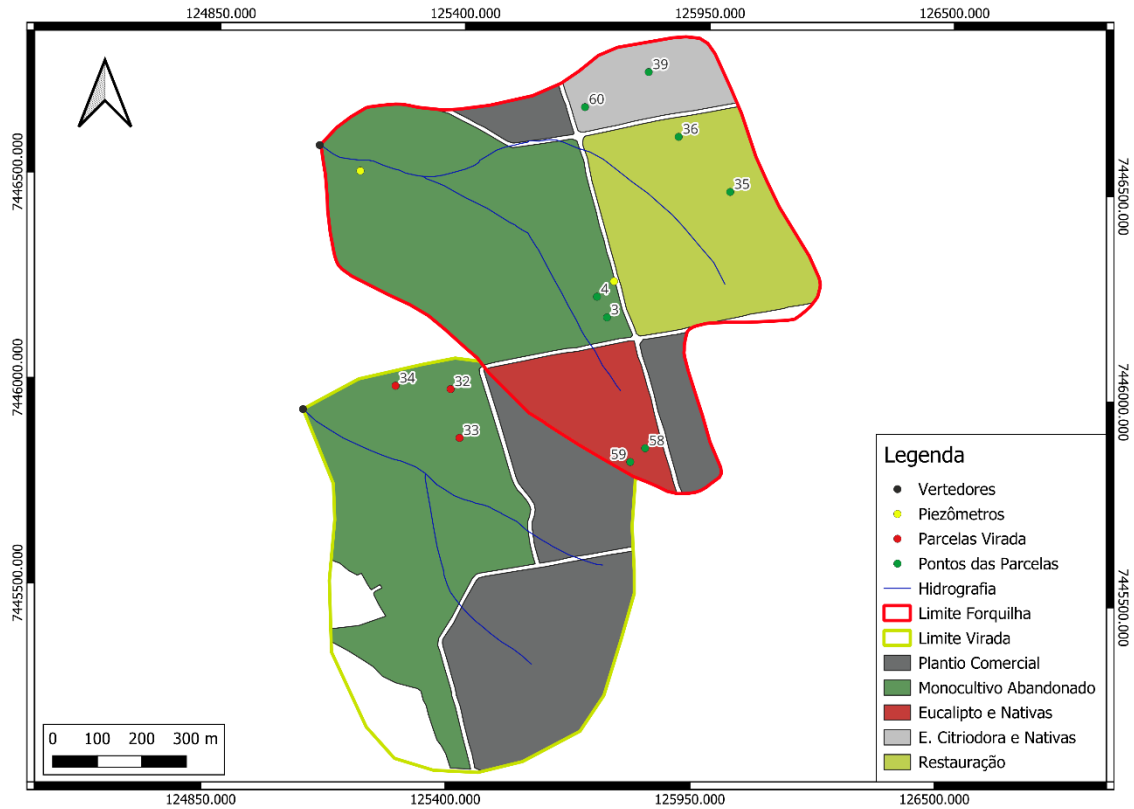
idades de eucaliptos terem sido considerados diferentes usos de solo, sendo assim, o talhão mais novo por ser apenas um, recebeu três parcelas, já os demais talhões por terem seis anos de idade, receberam apenas uma, não havendo a necessidade de instalar mais do que isso em cada um. Dados de um inventário anterior também foram adicionados a esse estudo para fins de comparação entre as microbacias. Dessa forma acrescentou-se os dados das microbacias Forquilha e Virada. No caso da microbacia Forquilha, houve a alocação de oito parcelas sendo duas para cada uso do solo. Ressalta-se que o inventário realizado nessas duas microbacias não foi feito considerando-se os limites de cada microbacia, em outras palavras, a terceira parcela em alguns casos foi instalada fora dos limites da microbacia, não sendo contabilizada nesse estudo, o que resultou em duas parcelas por uso do solo em alguns casos. A microbacia da Virada recebeu três parcelas, estando essas, localizadas em área de monocultivo abandonado como é mostrado nas figuras 3 e 4.

Figura 3 – Mapa de distribuição das parcelas da Monjolinho.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 4 – Mapa de distribuição das parcelas da Forquilha e Virada.



Fonte: Do autor (2023).

Tabela 1 – Usos do solo nas diferentes parcelas de inventário.

Microbacia	Parcela	Data	Tipologia	Composição	Ano de Estabelecimento
Forquilha	ITA_03	22/01/2019	Monocultivo Abandonado	Eucalipto + Nativas	1945
	ITA_04	25/01/2021	Monocultivo Abandonado	-	1945
	ITA_35	03/03/2020	Restauração	-	2017
	ITA_36	03/03/2020	Restauração	-	2017
	ITA_39	03/03/2020	Restauração	Citriodora + Nativas	2016
	ITA_58	26/01/2021	Mix	Eucalipto + Nativas	2017
	ITA_59	26/01/2021	Mix	Eucalipto + Nativas	2017
	ITA_60	27/01/2021	Mix	-	2017
Virada	ITA_32	02/03/2020	Monocultivo Abandonado	-	1945
	ITA_33	02/03/2020	Monocultivo Abandonado	Eucalipto + Nativas	1945
	ITA_34	02/03/2020	Monocultivo Abandonado	-	1945

Fonte: NewFor (2023).

Com base na Tabela 3, é possível perceber algumas diferenças no uso do solo. Existem parcelas onde há a predominância de vegetação nativa junto a alguns poucos indivíduos do gênero *Eucalyptus*, configurando um monocultivo abandonado, já em outras parcelas observa-se um plantio misto, para fins de restauração.

Também foram tiradas fotos (Anexo 1) de diferentes ângulos das parcelas de eucalipto, para o controle destas parcelas e futuras comparações entre o desenvolvimento dos indivíduos em cada parcela. Uma do cabeçalho da planilha de campo da respectiva parcela para identificação das três posteriores fotos, duas fotos (uma no sentido horizontal e uma no vertical) posicionado no meio de um dos lados da parcela e uma foto do dossel posicionado no centro da parcela, totalizando 4 fotos. Um exemplo é mostrado na figura 5.

Figura 5 – Exemplo das fotos tiradas em cada parcela.



Fonte: Do autor (2023).

3.3 Coleta de dados

Para a coleta de dados na Microbacia do Monjolinho, foram plaqueteados, mensurados e identificados todos os indivíduos de espécies lenhosas (arbustos, árvores, palmeiras) com pelo menos um fuste com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 5 cm.

Todos os indivíduos de floresta nativa com DAP ≥ 5 cm tiveram sua altura medida. Em plantios de *Eucalyptus* foram medidas as alturas de 15 indivíduos, para a definição destes, foi feita a organização da base de dados em ordem crescente dos DAP e então selecionados os 5 maiores, os 5 médios e os 5 menores. As medidas de altura foram feitas com a utilização de um Hipsómetro Vertex. Esses dados então foram posteriormente utilizados para a formulação de uma relação hipsométrica (Altura \sim DAP) para estimar as alturas dos demais indivíduos, essas

análises foram realizadas com o auxílio do software *R Studio*, que é uma ferramenta para desenvolvimento em linguagem R, uma linguagem de programação.

As placas foram colocadas nas árvores voltadas para a direção norte, para facilitar o controle de campo e garantir que nenhum indivíduo deixasse de ser mensurado.

As árvores mortas, plantas infestantes (lianas e gramíneas) e regenerante não foram plaqueteados, mensurados e identificados.

No caso das Microbacias da Forquilha e Virada, foram utilizados dados de inventário já existentes de estudos anteriores. Foram instaladas 8 parcelas na Forquilha e 3 parcelas na Virada. Essas parcelas também seguiram o mesmo protocolo de medições do Monjolinho, sendo este, o Protocolo de Medições do Projeto NewFor (2019).

Foram utilizados também, códigos para identificar a situação dos indivíduos, como: Falha (1), Morta (2), Tombada (3), Quebrada (4), Formiga (5), Praga (6), Doença (7), Ponta Seca (8), Dano Estresse Hídrico (9), Dano Estresse Térmico (10).

3.4 Processamento de dados

Para a Microbacia do Monjolinho foi utilizado o Modelo de Curtis como forma de estimar as alturas dos eucaliptos (Equação 1). Os parâmetros ajustados se encontram na tabela 2.

$$\ln(HT) = \beta_0 + \beta_1 * 1/DAP \quad (1)$$

Em que:

- \ln é o Logaritmo Natural;
- HT é a Altura Total estimada (m);
- β_0 e β_1 são os parâmetros;
- DAP é o Diâmetro Acima do Peito (cm).

Tabela 2 – Parâmetros estimados pelo modelo.

Combinação	B0	B1	R ²	R ² ajust	Syx%
MG D 6 Anos	3.769	-8.880	0.925	0.918	0.418
MG C 6 Anos	3.795	-8.642	0.988	0.987	0.133
MG A 6 Anos	3.681	-8.097	0.963	0.962	0.270
MG B 2 Anos	2.724	-1.750	0.674	0.667	0.386

A partir disso, com os parâmetros ajustados, foi possível estimar as alturas das demais árvores e o volume de madeira por parcela e por talhão, sendo utilizada para isso a equação de volume ajustada em estudos anteriores feitos na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga – EECFI (Equação 2).

$$V = \beta_0 + \beta_1 * (DAP^2 * H) / 1000 \quad (2)$$

Em que:

- V é o volume (m^3);
- β_0 e β_1 são os parâmetros, 0.0261 e 0.035 respectivamente;
- DAP é o Diâmetro Acima do Peito (cm);
- H é a altura predita (m).

Foi utilizada a equação alométrica de Chave (2005) para a obtenção da quantidade de biomassa aérea (B) estocada nas regiões de mata nativa. É um modelo alométrico amplamente utilizado para estimar a biomassa seca acima do solo de florestas tropicais. A equação é dada pela seguinte fórmula e seus respectivos parâmetros (Equação 3).

$$B = \rho \times \exp(\alpha + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \ln(DAP))^2 - \beta_3 \ln(DAP))^3 \quad (3)$$

Em que:

- B é a biomassa na parte aérea (Mg/ha);
- ρ é a densidade média (Kg/m^3);
- DAP é o Diâmetros a Altura do Peito (cm);
- β_1 , β_2 e β_3 são os parâmetros 2.1481, 0.207 e 0.0281 respectivamente;
- α é um coeficiente previamente determinado de valor -1.499.

Para a densidade média das espécies nativas, foi utilizado o valor de 0,603 Kg/m^3 sugerido por Vieira et al. (2008).

Após o processamento dos dados do inventário florestal aplicado conforme cada tipo de uso do solo exigia para os cálculos, obteve-se a biomassa seca acima do solo em quilogramas por árvore inventariada para as espécies nativas. Em seguida, foi quantificado o estoque de carbono por árvore pela multiplicação de cada biomassa pelo fator 0,47 estabelecido pelo

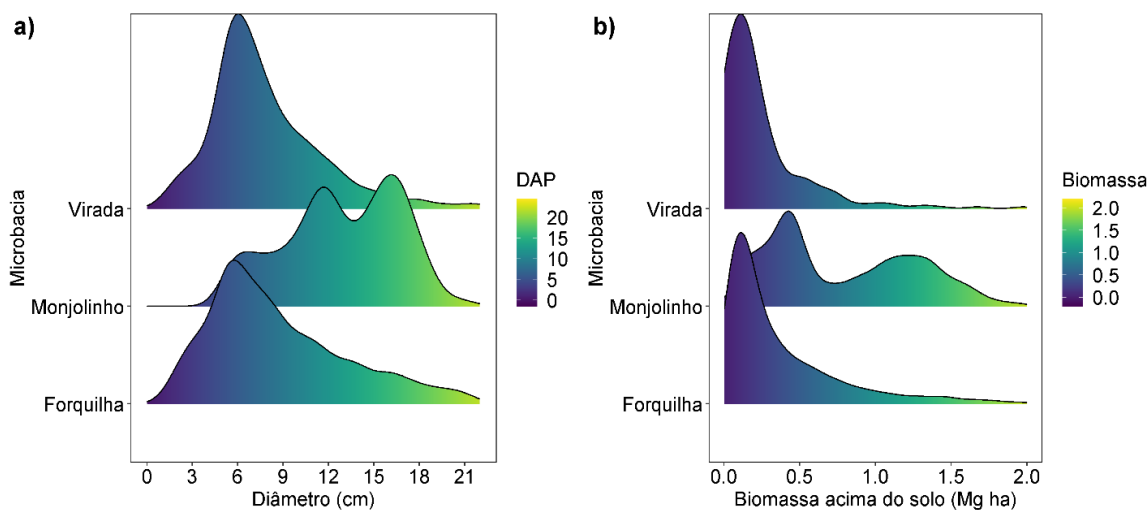
Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (IPCC, 2006). Para o cálculo de biomassa nos talhões foi feita a multiplicação do volume obtido pela densidade média de 440 Kg/m³ sugerida por SANTOS et al., (2019). Após isso, também foi feita a multiplicação da biomassa obtida por 0,47 (IPCC, 2006).

Para as microbacias da Forquilha e Virada, não foi necessário estimar alturas nem o cálculo de volume, pois todas as alturas foram medidas em campo. Portanto, foi realizado apenas a quantificação de biomassa e carbono seguindo a mesma metodologia descrita acima.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em relação à distribuição de diâmetros, a microbacia do Monjolinho apresentou mais indivíduos com DAP superior a 10 cm sendo que, diferentemente das demais microbacias, não apresentou uma distribuição diamétrica do tipo “J” invertido, enquanto nas demais há uma concentração de diâmetros com valores menores, seguindo esse padrão de distribuição, como mostra a figura 6 (a). Essa distribuição, segundo Scolforo (1998), caracteriza-se pela diminuição da frequência de indivíduos a medida em que aumenta-se a classe diamétrica, até que essa frequência chegue no seu menor índice na maior classe diamétrica. Além disso, essa distribuição sugere que as populações que compõem uma determinada comunidade são estáveis e autoregenerativas e que existe um balanço entre mortalidade e o recrutamento dos indivíduos. Porém, este modelo possui algumas limitações, pois existindo variação no tamanho dos indivíduos, pode haver uma rápida transição de uma classe diamétrica para a classe seguinte ou, até mesmo, não existir essa transição, caracterizando um estado absorvente, em que a probabilidade de transição é nula e ocorre acréscimo de plantas em uma única classe diamétrica (Scolforo et al. 1998). Além disso, segundo Meyer et al.(1961), a distribuição diamétrica em formações florestais pode ser muitas vezes errática ou descontínua, não seguindo realmente uma forma “J” invertido e muito menos sendo balanceada. Entretanto, do ponto de vista ecológico, a distribuição diamétrica deveria ser balanceada e o estoque em crescimento deveria conservar a biodiversidade da floresta mutiânea, decrescendo segundo uma progressão geométrica constante. No que se refere a biomassa, houve um comportamento semelhante para a microbacia do Monjolinho.

Figura 6 – Análise de distribuição de valores de DAP e Biomassa.

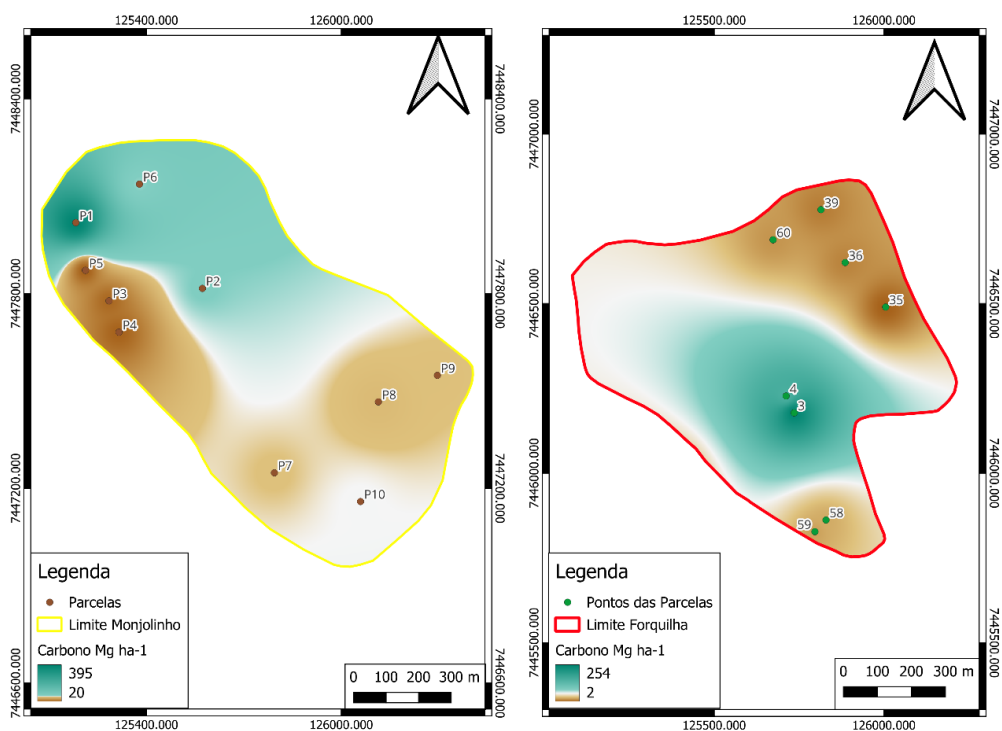


Fonte: Do autor (2023).

O estoque de carbono variou de forma diferente em cada microbacia. Na microbacia do Monjolinho foi constatada uma variação de $22,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ onde o solo é ocupado por eucaliptos mais novos (2 anos) até $394,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, onde essa ocupação é de monocultivo abandonado, que já se tornou basicamente uma área de vegetação natural. Já no caso da Forquilha, nota-se uma variação de $2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em área de restauração (Eucalipto + Nativas), até um valor de $254,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em área de monocultivo abandonado.

Os plantios mais novos (2 anos), além de apresentarem valores menores de estoque de carbono em relação aos mais velhos (6 anos) ($22,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $73,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente), também tiveram uma certa variação entre si, o que está de acordo com o que foi constatado por Schneider e Schneider (2008), no qual, embora florestas mais jovens apresentem uma soma menor de estoque de carbono, podem apresentar variação nas taxas, diferente do que ocorre em florestas mais antigas, onde o aumento do estoque tende a ser nulo. Pregitzer e Euskirchen (2004) afirmam também que o incremento de carbono ocorre com aumento da biomassa em função do aumento da idade, independente do ecossistema, mas os estoques são variáveis com a idade e o tipo florestal. Provavelmente, isso pode ser explicado pelo fato de o volume da madeira aumentar com o passar dos anos, pois o carbono fica armazenado principalmente na madeira, ou seja, uma árvore mais velha tende a ter mais madeira e, portanto, maior quantidade de carbono estocado. Não foi gerado um mapa para a microbacia da Virada devido a baixa quantidade de parcelas instaladas na área e sua concentração espacial. A figura 7 e a tabela 3 elucidam as variações que ocorreram nessas áreas.

Figura 7 – Mapa de interpolação do Carbono nas microbacias Monjolinho e Forquilha.



Fonte: Do autor (2023).

Tabela 3 – Valores de Biomassa e Carbono para as parcelas na MB Monjolinho.

Uso do Solo	Biomassa (Mg/ha)			Carbono (Mg/ha)		
	Idade			Idade		
Eucalipto	2	6	Variável	2	6	Variável
P10	-	157.5	-	-	74.0	-
P3	52.6	-	-	24.7	-	-
P4	45.6	-	-	21.4	-	-
P5	43.4	-	-	20.4	-	-
P6	-	178.4	-	-	83.9	-
P7	-	151.6	-	-	71.3	-
P8	-	144.3	-	-	67.8	-
P9	-	150.1	-	-	70.5	-
Nativa						
P1	-	-	838.5	-	-	394.1
P2	-	-	184.9	-	-	86.9

Fonte: Do autor (2023).

Na Microbacia da Forquilha, é possível notar uma notável diferença na quantidade de biomassa produzida e, conseqüentemente, na quantidade de carbono estocado quando comparamos as parcelas 3 e 4 com as demais parcelas (20,3 Mg.ha⁻¹ até uma média de 204,7 Mg.ha⁻¹). Observa-se que 80% do total de carbono estocado está presente apenas nessa área.

Isso se deve ao fato de que a área está em processo de abandono a muitos anos, apresentando um estado de regeneração bastante avançado, com muitos indivíduos de espécies nativas e, conforme Castro e Kauffmam (1998), a biomassa acima do solo total (incluindo árvores, estrato herbáceo-arbustivo, e serapilheira) tende a ser maior à medida que a vegetação tende a ser mais densa, o que também foi constatado por Perring et al. (2015) e Staples et al. (2019). Nas demais áreas temos uma quantidade bem menor de carbono estocado por serem compostas por mix de espécies envolvendo nativas e algumas espécies de *Eucalyptus*. Os valores por parcela podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantificação de biomassa e carbono na microbacia Forquilha.

Parcela	Área (ha)	Biomassa (Mg/ha)	Carbono (Mg/ha)
ITA_03	0.10	541.7	254.6
ITA_04	0.09	329.6	154.9
ITA_35	0.09	4.2	2.0
ITA_36	0.05	30.4	14.3
ITA_39	0.09	26.1	12.3
ITA_58	0.10	60.3	28.3
ITA_59	0.09	52.9	24.9
ITA_60	0.09	43.2	20.3

Fonte: Do autor (2023).

No caso da Virada, nota-se também uma capacidade alta de armazenagem de carbono, tendo em média $34,9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, uma vez que as três parcelas estão localizadas em área de monocultivo abandonado, ou seja, há uma enorme predominância de vegetação nativa. Isso explica essa alta quantidade em relação a outras parcelas onde há um manejo consorciado entre Eucaliptos e Nativas, como é o caso das parcelas 58 e 59. Os valores se encontram na Tabela 5.

Tabela 5 – Quantificação de biomassa e carbono na microbacia Virada.

Parcela	Área (ha)	Biomassa (Mg)	Carbono (Mg)	Biomassa (Mg/ha)	Carbono (Mg/ha)
ITA_32	0.09	4.8	2.3	52.9	24.9
ITA_33	0.09	6.7	3.1	73.6	34.6
ITA_34	0.09	8.3	3.9	96.2	45.2

Fonte: Do autor (2023).

5 CONCLUSÕES

Com base no exposto, é possível concluir que os diferentes tipos de uso do solo, influenciaram na quantidade de carbono estocado na parte aérea, não somente comparando florestas plantadas com florestas nativas, mas também comparando as idades destas florestas plantadas, que também foi um fator chave para ocasionar diferenças no estoque de carbono. O consórcio entre nativas e plantadas também gerou diferenças nessa quantidade, ficando entre os plantios de eucalipto e a vegetação nativa.

Portanto, com tudo o que foi constatado nesse estudo, é possível entender um pouco como é a variação de estoque de carbono em diferentes usos do solo em escala de microbacias, o que é de suma importância para estudos a serem realizados futuramente nessas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMAZONAS, N. T. et al. Combining Eucalyptus wood production with the recovery of native tree diversity in mixed plantings: Implications for water use and availability. **Forest Ecology and Management**, v. 418, p. 34-40, 2018.
- BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H. F. (ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BARRETO, P. A. B. et al. Atividade, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em uma seqüência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 611-619, 2008.
- BARRETO, P. A. B. et al. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry systems**, v. 81, n. 3, p. 213-220, 2011.
- BINKLEY, D.; BURNHAM, H.; ALLEN, H. L. Water quality impacts of forest fertilization with nitrogen and phosphorus. **Forest Ecology and Management**, v. 121, n. 3, p. 191-213, 1999.
- CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, p. 263-283, mai. 1998.
- CHAVE, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, p. 87-99, 2005.
- COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CUNHA, G. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. **Revista Árvore**, v. 29, p. 563-570, 2005.
- DRINAN, T. J. et al. The impact of catchment conifer plantation forestry on the hydrochemistry of peatland lakes. **Science of the Total Environment**, v. 443, p. 608-620, 2013.
- FARIA, G. E. et al. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 80, p. 265-277, 2008.
- FARLEY, K. A.; JOBBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. **Global change biology**, v. 11, n. 10, p. 1565-1576, 2005.
- FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. p. 90.

FREITAS, L. E. et al. **Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé**. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil Ltda, 2015. p. 96.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Soil and productivity mapping of *Eucalyptus grandis* plantations, using a geographic information system. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 94, p. 187-201, 2012.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual 2022**. FGV:IBRE, p. 93, 2023. Disponível em: <<https://www.iba.org/publicacoes>>. Acesso em: 12 de fev. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**: Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japão: IGES, 2006.

IRGEB. Interdisciplinary Research Group on Environmental Biogeochemistry. **Relação entre bacia hidrográfica com o manejo e a conservação do solo e da água**. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ago. 2020. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/irgeb/2020/08/26/a-estreita-relacao-da-bacia-hidrografica-com-o-manejo-e-a-conservacao-do-solo-e-da-agua/>>. Acesso em: 19 de jun. 2023.

MALMER, A. Hydrological effects and nutrient losses of forest plantation establishment on tropical rainforest land in Sabah, Malaysia. **Journal of hydrology**, v. 174, n. 1-2, p. 129-148, 1996.

MARTINS, F. B. et al. Zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 315-322, 2005.

MEYER, A.H., RICKNAGEL, A.B., STEVENSON, D.D. & BARTOO, R.A. 1961. **Forest management**. The Ronald Press Company, New York.

MOURA, L. F.; MENDONÇA, T. F.; NASCIMENTO, C. W. A. Carbono orgânico do solo e sua importância para o ambiente. In: Seminário de iniciação científica, 10., **Anais...** Guanambi: Instituto Federal Baiano, 2016.

NewFor. **Projeto NewFor**. Piracicaba, SP: ESLQ, USP; LASTROP. 2023. Disponível em: <<https://esalqlastrop.com.br/capa.asp?p=242>>. Acesso em: 10 de mar. 2023.

PERRING, M. P. et al. Soil-vegetation type, stem density and species richness influence biomass of restored woodland in south-western Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 344, p. 53-62, 2015.

PREGITZER, K. S.; EUSKIRCHEN, E. S. Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. **Global change biology**, v. 10, n. 12, p. 2052-2077, 2004.

PULROLNIK, K. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1125–1136, 2009.

QUINN, J. M.; STROUD, M. J. Water quality and sediment and nutrient export from New Zealand hill-land catchments of contrasting land use. **New Zealand journal of marine and freshwater research**, v. 36, n. 2, p. 409-429, 2002.

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, v. 46, p. 76-85, 1993.

SANTOS, A. R. C. S. et al. Influência da idade na densidade básica da madeira de *eucalyptus* sp de plantios clonais e sementes. In: **IV Congresso Brasileiro de Eucalipto**, p. 3, Salvador, BA, ago. 2019.

SCHENEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. R. P. Avaliação da biomassa e carbono In: SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. R. P. **Introdução ao manejo florestal**. 2 ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. p. 275-308.

SCHOLES, R. J.; NOBLE, I. R. Storing carbon on land. **Science**, v. 294, n. 5544, p. 1012-1013, 2000.

SCHUMACHER, M. V. et al. Quantificação de carbono orgânico na serapilheira, sub-bosque e solo de uma Floresta de *Pinus elliottii* Engelm. aos 36 anos, em Santa Maria, RS. In.

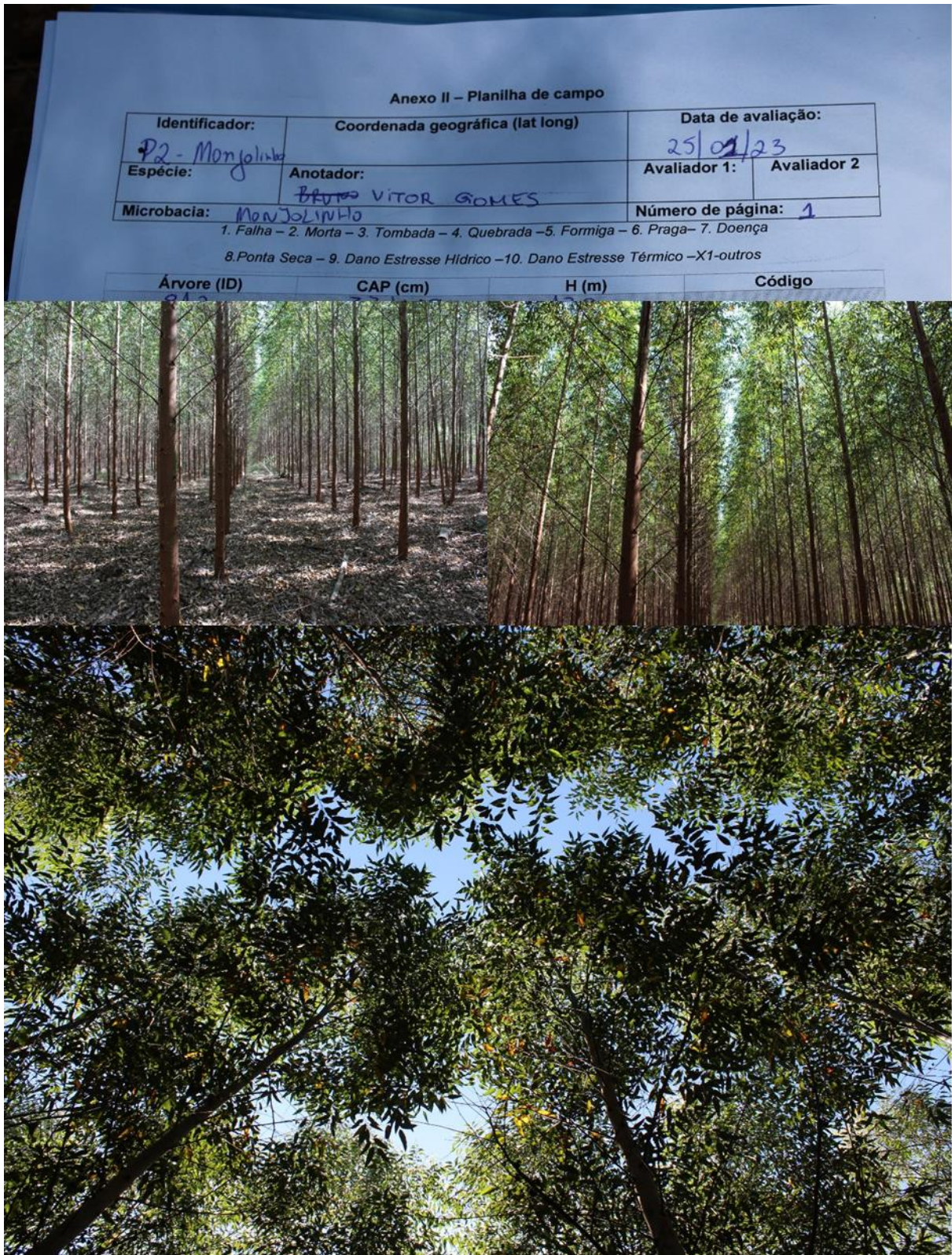
SCOLFORO, J.R.S., PULZ, F.A. & MELO, J.M.de. 1998. **Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural**. In Manejo Florestal (J.R.S. Scolforo, org.). UFLA/FAEPE, Lavras, p.189-246.

SANQUETTA, C. R. et al. (eds.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba, 2004. p. 125-132.


STAPLES, T. L. et al. Productivity does not correlate with species and functional diversity in Australian reforestation plantings across a wide climate gradient. **Global Ecology and Biogeography**, v. 28, n. 10, p. 1417-1429, 2019.

VIEIRA, F. A.; GUSMÃO, E. Biometria, armazenamento de sementes e emergência de plântulas de *Talisia esculenta* Radlk.(Sapindaceae). **Ciência e agrotecnologia**, v. 32, p. 1073-1079, 2008.

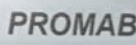
ANEXO A – Talhão 27 parcela 1



ANEXO B – Talhão 27 parcela 2





Ficha de Inventário
Versão 2



Identificador: <i>25-EuArea1-P2</i>	Coordenada Geográfica (lat long): <i>lat 5 23' 19" Long 48 39' 39"</i>	Data da Avaliação: <i>24/11/22</i>
Espécie:	Anotador:	Avaliador1: Avaliador2:

v	h (m)	cap (cm)	Cod	Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod	Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod	Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod	
2		36,9		835		36,8		859		34,2		887		34,5/11,4		Bif
3		36,6		836		37,5		860		33,0		885		36,5		
				837		37,5		861		36,1		886		36,5		





ANEXO C – Talhão 27 parcela 3



ANEXO D – Talhão 28

IPEF Versão 2 **PROMAB**

Identificador: 2f_Euc 3_P1	Coordenada Geográfica (lat long): Lat S 23° 41' 50" Long O 48° 39' 39"	Data da Avaliação:
Espécie:	Anotador: Mathew	Avaliador1: Mariana
		Avaliador2:

Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod	Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod	Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod	Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod
147		49,2		172		46,7		197		36,8	*	222		52,1	
148		49,4		173		54,6		198		45,2		223		51,3	
149		56,7		174		54,1		199		46,0		224		52,8	
				175		46,6		200		50,7		225		34,1	




ANEXO E – Talhão 29

IPFP AB

Identificador: 2f. Evc 2 P1 Coordenada Geográfica (lat long): Lat S 23°41'46" Long O 48°38'51"
 Espécie: Anotador: Matheus Data da Avaliação: Avaliador1: Avaliador2:

Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod	Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod	Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod	Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod
546	395			571	438			596	516	621	235				
547	36.8			572	47.9			597	48.7	622	35.1	*			
548	30.8			573	49.5			598	51.2	623	48.0				
549	57.0			574	53.2			599	53.9	624	49.0				
550	57.4			575	59.8			600	44.6	625	45.5				
551	55.9			576	50.6			601	57.8	626	54.7				
552	52.0			577	50.1			602	50.3	627	53.2				
553	60.5			578	45.4			603	46.8	628	36.5				
554	50.9			579	52.5			604	57.4	629	41.1				
555	45.1			580	55.7			605	47.6	630	47.7				
556	65.2			581	53.8			606	42.6	631	56.3				
557	51.9			582	45.7			607	50.0	632	45.5				
558	49.4			583	47.8			608	54.0	633	48.9				
559	47.6			584	53.7			609	46.8	634	48.1				
560	64.0			585	40.6			610	53.1	635	51.1				
561	52.5			586	53.8			611	59.1	636	56.5				
562	42.2			587	53.4			612	48.4	637	51.9				
563	50.0			588	53.2			613	30.8	638	46.9				
				589	47.7			614	54.0	639	53.5				




ANEXO F – Talhão 30

IPET **Ficha de Inventário** **PROMAB**
 Versão 2

Identificador: <i>2f - Euc 4 - P1</i>	Coordenada Geográfica (lat long): <i>Lat 5 23° 0' 0" Long 0 48° 40' 37"</i>	Data da Avaliação:
Espécie:	Anotador: <i>Matheus</i>	Avaliador1: <i>Mariana</i>
		Avaliador2:

Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod	Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod	Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod	Arv #	h (m)	cap (cm)	Cod
796		54,8		721		45,5		745		47,5		-	-	-	7
797		52,0		722		55,5		746		53,4		* 769		59,5	
798		47,4		723		56,4		747		52,2		770		49,9	
799		47,5		724		52,0		748		53,1		771		51,5	
800		47,9		725		45,9		749		49,4		772		50,9	



ANEXO G – Talhão 31

