

**Modelo Bioeconômico Integrado das Plantações de Eucalipto: Produção,
Biomassa, Carbono e Serviços Ecossistêmicos**

**Integrated Bioeconomic Model of Eucalyptus Plantations: Production, Biomass,
Carbon, and Ecosystem Services**

Ana Paula da Silva Bossolani
UFGD—Universidade Federal da Grande Dourados

Madalena Maria Schlindwein
UFGD—Universidade Federal da Grande Dourados

**Grupos de trabalho (GT04) Meio ambiente, agroecologia, sustentabilidade e
mudanças climáticas**

RESUMO

O presente estudo analisou o papel de diferentes espécies de eucalipto na produção florestal brasileira por meio da proposição de um Modelo Bioeconômico Integrado, capaz de relacionar produtividade, biomassa, sequestro de carbono e valor econômico. Inicialmente, realizou-se uma análise descritiva das florestas plantadas no Brasil, evidenciando que cerca de 78% da área é ocupada por eucalipto, com destaque para *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus globulus* e *Corymbia citriodora*. A metodologia adotou uma abordagem quantitativa, utilizando dados de produtividade, densidade da madeira e preços médios. A biomassa acima do solo foi estimada pelo modelo alométrico simples ($B = V \times D$), o sequestro de carbono por $C = B \times 0,5$ e o valor econômico por $VE = P \times V$. Os resultados indicaram que *Eucalyptus urophylla* apresentou maior acúmulo de biomassa ($19,36 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e maior sequestro de carbono ($9,68 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), enquanto *Eucalyptus grandis* apresentou o maior valor econômico estimado (R\$ 7.875,00 ha^{-1}). As diferenças entre espécies evidenciam um trade-off entre produtividade volumétrica e densidade da madeira, reforçando a importância da seleção adequada e do manejo silvicultural. Além disso, subprodutos da silvicultura demonstraram elevado potencial energético e industrial, contribuindo para a economia circular. Conclui-se que o modelo proposto é uma ferramenta útil para integrar dimensões produtivas, econômicas e ambientais, auxiliando no planejamento florestal e na promoção de estratégias sustentáveis de mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Eucalipto; biomassa; sequestro de carbono; produção florestal e serviços ecossistêmicos.

ABSTRACT

This study analyzed the role of different eucalyptus species in Brazilian forestry production by proposing an Integrated Bioeconomic Model capable of relating productivity, biomass, carbon sequestration, and economic value. Initially, a descriptive analysis of planted forests in Brazil was carried out, showing that approximately 78% of the area is occupied by eucalyptus, with emphasis on *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus globulus*, and *Corymbia citriodora*. The methodology adopted a

quantitative approach, using data on productivity, wood density, and average prices. Aboveground biomass was estimated using a simple allometric model ($B = V \times D$), carbon sequestration by $C = B \times 0.5$, and economic value by $VE = P \times V$. The results indicated that *Eucalyptus urophylla* showed the highest biomass accumulation ($19.36 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) and the highest carbon sequestration ($9.68 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), while *Eucalyptus grandis* showed the highest estimated economic value (R\$ 7,875.00 ha^{-1}). The differences between species highlight a trade-off between volumetric productivity and wood density, reinforcing the importance of appropriate selection and silvicultural management. Furthermore, silvicultural byproducts demonstrated high energy and industrial potential, contributing to the circular economy. In conclusion, the proposed model is a useful tool for integrating productive, economic, and environmental dimensions, assisting in forest planning and promoting sustainable strategies for mitigating climate change.

Keywords: Eucalyptus; biomass; carbon sequestration; forest production and ecosystem services.

1. INTRODUÇÃO

O eucalipto é uma das espécies florestais mais cultivadas no mundo, reconhecido por seu rápido crescimento, alta produtividade e versatilidade de uso, que vão desde a produção de madeira e celulose até óleos essenciais e carvão vegetal. Originário da Austrália, o gênero *Eucalyptus*, incluindo espécies anteriormente classificadas como *Corymbia*, está amplamente distribuído em plantações comerciais na América do Sul, África e Ásia (EMBRAPA, 2019; Potts, 2004).

Sua sustentabilidade depende da adoção de práticas de manejo florestal responsáveis, capazes de garantir a produtividade contínua, preservar os recursos naturais e respeitar as comunidades locais (ABTCP, 2012). Entre as principais espécies cultivadas globalmente destacam-se *Eucalyptus Grandis*, *Eucalyptus Globulus*, *Eucalyptus Urophylla* e *Corymbia citriodora*, cada uma com características específicas que determinam seu uso industrial e adaptação a diferentes condições climáticas (AGROPÓS, 2020).

O eucalipto apresenta múltiplos usos industriais. Cerca de 40 % das plantações são destinadas à produção de celulose, utilizada em papel, embalagens e produtos de higiene (IBÁ, 2024). Outro uso relevante é a produção de carvão vegetal, especialmente no Brasil, com destaque para Minas Gerais, responsável por grande parte da produção nacional (IBGE, 2025). Adicionalmente, folhas e óleos essenciais de espécies como *Eucalyptus Globulus*, *Corymbia Citriodora* e *Eucalyptus Staigeriana* têm aplicações em

perfumaria, cosméticos, farmacêutica e produtos de limpeza (Dhakad et al., 2017; Shiekh et al., 2024; Cruz et al., 2024).

Além do valor econômico, as plantações de eucalipto desempenham papel estratégico na provisão de serviços ecossistêmicos e mitigação de carbono. Estudos indicam que essas plantações podem estocar grandes quantidades de carbono na biomassa e no solo, funcionando como sumidouros de CO₂ relevantes para programas de mitigação de gases de efeito estufa (EMBRAPA, 2024; Santos et al., 2024). A integração de eucalipto em sistemas agroflorestais tem se mostrado promissora para aumentar o carbono estocado e diversificar os serviços ecossistêmicos ofertados (Morales et al., 2023).

Pesquisas também destacam que o impacto sobre serviços relacionados à água e à biodiversidade depende do manejo, da espécie e do contexto paisagístico, sendo que consórcios com espécies nativas podem ampliar a diversidade funcional e os serviços múltiplos ofertados aos ecossistemas (Bispo et al., 2023).

A literatura reforça que, apesar do potencial do eucalipto, a disponibilidade de dados detalhados sobre espécies, híbridos, volumes e subprodutos ainda é limitada, dificultando avaliações integradas do seu papel na transição para uma economia sustentável. Observa-se, globalmente, um crescente interesse em integrar produção florestal, bioeconomia e serviços ecossistêmicos, impulsionado pela demanda por soluções de baixo carbono e pela consolidação de mercados verdes, incluindo mercados de carbono e mecanismos de pagamento por serviços ambientais (Silveira, 2021).

Diante desse contexto, a presente pesquisa busca responder à seguinte questão: Como as diferentes espécies de eucalipto e seus subprodutos contribuem, de forma integrada, para a produção florestal, o sequestro de carbono, a geração de biomassa e a provisão de serviços ecossistêmicos, considerando também seus impactos econômicos?

A justificativa para este estudo está na necessidade de consolidar informações dispersas sobre a produção, os subprodutos e os serviços ecossistêmicos do eucalipto. Ao integrar esses elementos, o estudo fornece subsídios para avaliar o potencial das plantações na mitigação de carbono, na promoção da economia circular, no apoio a políticas públicas e decisões empresariais voltadas ao manejo florestal sustentável, promovendo simultaneamente a integração entre produtividade econômica e conservação ambiental, e fortalecendo a base científica para o planejamento de sistemas florestais resilientes, socialmente equilibrados e ambientalmente responsáveis.

Com base nisso, propõe-se o Modelo Bioeconômico Integrado das Plantações de Eucalipto, que relaciona produção florestal, biomassa, sequestro de carbono e serviços ecossistêmicos. O objetivo do trabalho é analisar de forma integrada os usos do eucalipto, considerando espécies cultivadas, subprodutos e impactos econômicos e ambientais. Essa abordagem permite avaliar o potencial das plantações na mitigação de carbono, na promoção da economia circular e no planejamento de estratégias de manejo sustentável, oferecendo suporte para políticas públicas e decisões empresariais que conciliem produtividade econômica e conservação ambiental.

O trabalho está estruturado em seis seções. A Seção 1 apresenta a introdução; a Seção 2 aborda o embasamento teórico e a revisão de literatura; a Seção 3 descreve a metodologia adotada, incluindo a aplicação do modelo bioeconômico integrado; a Seção 4 apresenta e discute os resultados obtidos; a Seção 5 reúne as considerações finais; e, por fim, a Seção 6 apresenta as referências utilizadas no estudo.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO E REVISÃO DE LITERATURA

A expansão de florestas plantadas no Brasil, especialmente com espécies de *Eucalyptus*, tem se mostrado uma estratégia central tanto para o aumento da produção florestal quanto para o sequestro de carbono. De acordo com Carle *et al.* (2018), os estoques de carbono em plantios florestais brasileiros aumentaram de 231 Mt em 1990 para 612 Mt em 2016, sendo a expansão de *Eucalyptus* e *Pinus* um dos principais fatores desse crescimento.

Dados mais recentes indicam que a contribuição das florestas plantadas brasileiras para o armazenamento de carbono continua aumentando. Segundo relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2024), os plantios florestais no país apresentam elevados estoques de carbono na biomassa, com média estimada de 182,6 tCO₂eq ha⁻¹, e o conjunto de áreas produtivas e de conservação do setor florestal armazena cerca de 4,92 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente, evidenciando o papel estratégico dessas florestas na mitigação das emissões de gases de efeito estufa e no enfrentamento das mudanças climáticas.

Almeida *et al.* (2024) destacam que o eucalipto é uma espécie de rápido crescimento, com ampla adaptação a diferentes condições ambientais, sendo amplamente

cultivado em ciclos curtos e médios para produção de madeira, celulose, papel e biomassa energética.

Entre as espécies utilizadas em plantios comerciais, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* são tradicionalmente cultivadas devido à sua alta produtividade, adaptabilidade e resistência a diferentes condições edafoclimáticas. Por outro lado, *Eucalyptus globulus* tem se destacado especialmente na região Sul do Brasil, por apresentar madeira de alta densidade, excelente qualidade para a produção de celulose e papel e boa adaptação a ambientes mais frios e úmidos (Ferreira *et al.*, 2020). Estudos apontam que *Eucalyptus globulus* pode apresentar produtividade volumétrica entre 30 e 35 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em condições brasileiras, especialmente em solos profundos e sob manejo silvicultural adequado, tornando-se uma alternativa estratégica para diversificação de espécies e aumento da rentabilidade (Silva *et al.*, 2022).

Além dessas espécies, *Corymbia citriodora* (sin. *Eucalyptus citriodora*) também tem ganhado destaque em plantios comerciais no Brasil devido à alta densidade da madeira, elevada durabilidade natural e bom desempenho em regiões de clima tropical e subtropical, sendo amplamente utilizada para produção de madeira sólida, postes, serraria e energia. Essa espécie apresenta ainda bom crescimento inicial e elevada resistência a condições de déficit hídrico, o que amplia seu potencial para sistemas produtivos diversificados e para uso em regiões com maior variabilidade climática (Assis *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2021).

A produtividade florestal do eucalipto, de forma geral, apresenta grande variabilidade entre espécies, clones e condições de manejo. Oliveira *et al.* (2021) demonstram que híbridos de *Eucalyptus Urophylla* × *Eucalyptus Grandis* podem alcançar produtividade superior a 94,9 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto outros estudos indicam incrementos médios em torno de 30–40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em plantios comerciais de *Eucalyptus Globulus*, dependendo do clima, do solo e do manejo. Essa variabilidade reforça a importância da seleção de espécies e clones para otimizar a produção de biomassa e madeira.

Para estimar a biomassa total acumulada, a literatura indica o uso de modelos alométricos simples, baseados na multiplicação do volume de madeira pela densidade básica da madeira, metodologia amplamente utilizada em inventários florestais (Fearnside, 2001, apud Oliveira *et al.*, 2021). Estudos recentes mostram que tais estimativas permitem avaliar o sequestro de carbono de diferentes espécies, sendo uma

ferramenta essencial para mensurar o potencial de mitigação das mudanças climáticas (da Silva *et al.*, 2023).

O papel das plantações de eucalipto no sequestro de carbono está bem documentado. Carle *et al.* (2018) destacam que a expansão das áreas plantadas com eucalipto contribuiu significativamente para o aumento do estoque de carbono em plantações brasileiras entre 1990 e 2016. Oliveira *et al.* (2024) relatam que plantações de eucalipto podem acumular grandes quantidades de carbono tanto na biomassa aérea quanto no solo, em alguns casos, estimando-se até 674 tCO₂ por hectare. Especificamente, estudos com *Eucalyptus globulus* indicam que seu alto conteúdo de madeira densa favorece estoques maiores de carbono por unidade de área, mesmo em ciclos de cultivo mais curtos (Ferreira *et al.*, 2020).

Além do sequestro de carbono, os plantios de eucalipto apresentam impactos econômicos significativos. Almeida *et al.* (2024) destacam que a produção de madeira industrial, biomassa para energia e produtos florestais gera retorno econômico expressivo. A equação $VE = P \times V$, em que o valor econômico (VE) é o preço da madeira (P) multiplicado pelo volume produzido (V), é amplamente aplicada em estudos de viabilidade econômica florestal. Esse modelo permite estimar e comparar o retorno financeiro por hectare entre diferentes espécies, incluindo *Eucalyptus Globulus* (Silva e Oliveira, 2024).

Os serviços ecossistêmicos proporcionados pelas plantações de eucalipto vão além do sequestro de carbono. Práticas de integração agroflorestal, como a combinação de eucalipto com sistemas de produção agrícola e pecuária, têm demonstrado potencial para aumentar os estoques de carbono e gerar benefícios adicionais, como conservação do solo, melhoria da biodiversidade e maior resiliência ambiental (da Silva *et al.*, 2025; Costa *et al.*, 2022). Especificamente, *Eucalyptus globulus* tem se mostrado eficiente em sistemas produtivos e em regiões de clima mais frio, apresentando bom desempenho silvicultural e elevada qualidade da madeira, o que permite agregar valor econômico e ambiental aos plantios florestais (GONÇALVES *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2022).

Dessa forma, a literatura científica evidencia que os plantios de eucalipto no Brasil, incluindo *Eucalyptus Grandis*, *Eucalyptus Urophylla*, *Eucalyptus Globulus* e *Corymbia citriodora*, promovem elevada produtividade de madeira e biomassa, sequestram carbono de forma significativa, geram valor econômico e oferecem serviços ecossistêmicos importantes.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo adota uma abordagem quantitativa e descritiva, com foco no Brasil, com o objetivo de avaliar de forma integrada a contribuição de diferentes espécies de eucalipto para a produção florestal, geração de biomassa, sequestro de carbono e impactos econômicos. A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas principais.

Na primeira etapa, realizou-se a análise descritiva, considerando espécies amplamente cultivadas em plantios comerciais no Brasil em 2025, como *Eucalyptus Grandis*, *Eucalyptus Urophylla*, *Eucalyptus Globulus* e *Corymbia Citriodora*. Para cada espécie, foram coletados dados de produtividade florestal (m³/ha/ano), densidade básica da madeira e preço médio da madeira, com base em informações fornecidas pela EMBRAPA (2025), pela Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2025) e pelo Sistema FAMASUL (2025).

Na segunda etapa, os dados obtidos na análise descritiva foram utilizados para a estimativa da biomassa acima do solo, do sequestro de carbono e do valor econômico da produção.

A estimativa de biomassa acima do solo (B) foi realizada por meio de um modelo alométrico simples:

$$B = V \times D \quad (1)$$

Em que:

- B = biomassa total (t/ha)
- V = volume de madeira (m³/ha)
- D = densidade básica da madeira (t/m³).

Essa abordagem é amplamente utilizada em estudos florestais como uma aproximação prática na ausência de equações alométricas específicas (Brown, 1997; Chave et al., 2014).

O sequestro de carbono (C) foi estimado considerando que aproximadamente 50% da biomassa seca corresponde ao carbono, utilizando a equação:

$$C = B \times 0,5 \quad (2)$$

Esse fator é amplamente adotado em estudos de carbono florestal e recomendado pelo IPCC (2006). Para estimar o valor econômico da produção (VE) foi utilizado um modelo simples:

Em que:

$$VE = P \times V \quad (3)$$

- VE = valor econômico da produção (R\$/ha)
- P = preço médio da madeira (R\$/m³)
- V = volume produzido (m³/ha).

Esse tipo de modelo é frequentemente empregado em análises econômicas florestais (Klemperer, 1996; Pearce, 2001).

Os resultados obtidos para cada espécie foram comparados por meio de análise descritiva, permitindo avaliar quais apresentam maior potencial para produção de biomassa, captura de carbono e retorno econômico, bem como suas contribuições para os serviços ecossistêmicos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação dos resultados está estruturada em duas etapas principais. Na primeira etapa, realiza-se a análise descritiva da área de florestas plantadas, principais espécies de eucalipto cultivadas no Brasil, considerando produtividade e densidade básica da madeira. Na segunda etapa, os dados da análise descritiva são usados para estimar biomassa, sequestro de carbono e valor econômico. Essa abordagem integrada permite avaliar produtividade, potencial de mitigação de carbono e retorno econômico, fornecendo subsídios para manejo sustentável e políticas públicas.

4.1 ÁREA DE FLORESTAS PLANTADAS, PRINCIPAIS ESPÉCIES E PRODUTOS ORIUNDOS DE EUCALIPTO

A silvicultura no Brasil continua em expansão, atingindo uma área estimada de, aproximadamente, 10 milhões de hectares de florestas plantadas em 2025 (PEVS/IBGE, 2025). Deste total, cerca de 78% é ocupado por eucalipto, consolidando-se como o principal tipo de plantio, enquanto Pinus representa cerca de 18% e outras espécies

correspondem a, aproximadamente, 4% da área total. Minas Gerais permanece como o estado com a maior área plantada, cerca de 2,1 a 2,2 milhões de hectares, quase inteiramente formada por eucalipto (97%), seguido pelos estados como Mato Grosso do Sul e São Paulo (Figura 1).

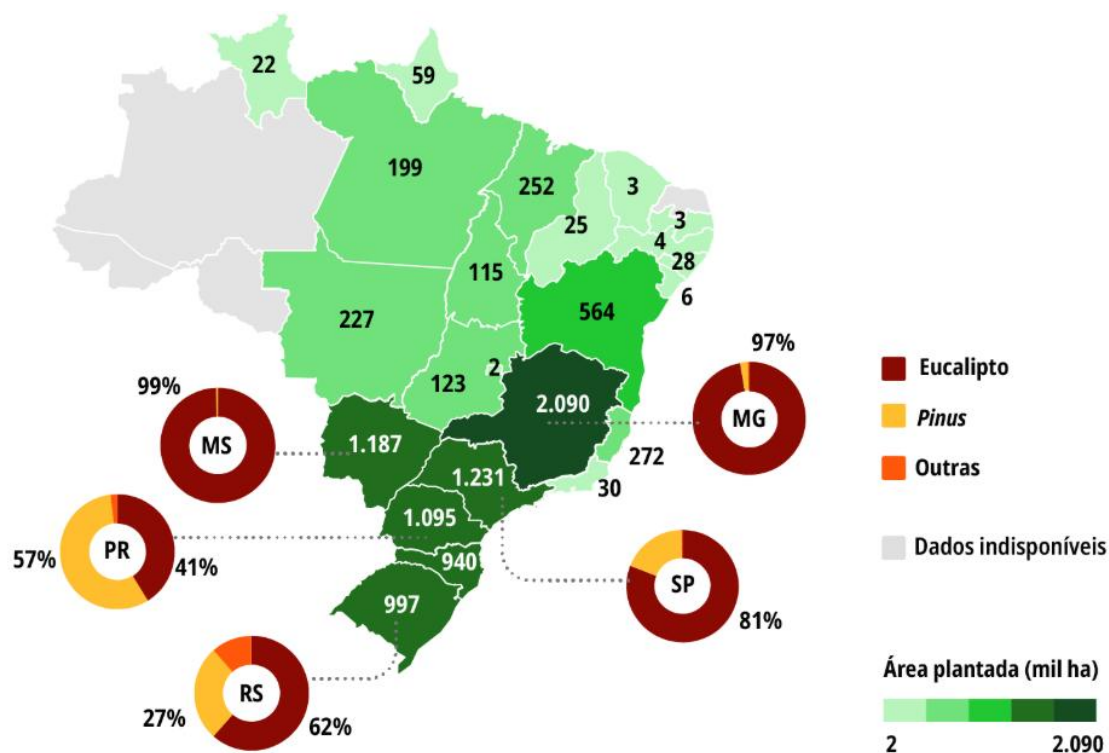


Figura 1 - Área de floresta plantada por tipo de plantio e Unidade Federativa do Brasil. Fonte: Pesquisa Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS/IBGE, pag. 03, 2025a).

Observa-se que, embora as regiões Sudeste e Sul apresentem áreas de plantio semelhantes, predominam espécies distintas: o Sudeste concentra-se principalmente em eucalipto, enquanto o Sul apresenta maior participação de Pinus. Esse padrão regional de distribuição das espécies florestais reflete a crescente demanda da indústria de celulose, papel e biomassa energética, além do fortalecimento do setor florestal como gerador de empregos e fornecedor de subprodutos de alto valor agregado (PEVS/IBGE, 2025) (Figura 1).

Entre as espécies cultivadas, destacam-se *Eucalyptus Grandis*, *Eucalyptus Urophylla*, *Eucalyptus Globulus* e *Corymbia Citriodora* (Tabela 1), cada uma desempenhando papéis específicos na produção florestal brasileira (IBÁ, 2024; IBGE, 2024). O *Eucalyptus Grandis* e seus híbridos com *Eucalyptus Urophylla* (*Eucalyptus*

Grandis × *Urophylla*) apresentam elevado crescimento e produtividade, sendo responsáveis por cerca de 19,8 milhões de toneladas de celulose e papel, devido às fibras longas e finas, ideais para papéis finos e tissue (Tabela 1).

O *Eucalyptus Urophylla*, em conjunto com *Corymbia Citriodora*, é amplamente utilizado na produção de madeira serrada e estrutural, que totaliza aproximadamente 12,5 milhões de m³, atendendo à construção civil, móveis e postes, graças à densidade e resistência da madeira (Tabela 1).

Tabela 1. Principais produtos de eucalipto e produção estimada no Brasil (2025)

Produto/uso	Espécies mais utilizadas	Quantidade estimada produzida (ano)	Densidade básica média da madeira (t/m ³)
Celulose e papel	<i>Eucalypto Globulus</i> , <i>Eucalypto Grandis</i> × <i>urophylla</i>	19,8 milhões t	0,54 / 0,40
Madeira serrada e estrutural	<i>Eucalypto Urophylla</i> , <i>Corymbia citriodora</i>	12,5 milhões m ³	0,54 / 0,65
Biomassa (cascas, galhos, cavacos)	<i>Eucalypto Grandis</i> , <i>Eucalypto Urophylla</i>	35,0 milhões t	0,40 / 0,54
Carvão vegetal	<i>Eucalypto Grandis</i> , <i>Eucalypto Urophylla</i>	7,2 milhões t	0,40 / 0,54
Óleo essencial	<i>Corymbia Citriodora</i>	3,5 mil t	0,65
Adubos orgânicos / forragem	Diversas espécies	1,2 milhões t	-

Fonte: Elaboração própria com base em relatórios setoriais e IBÁ/IBGE para 2024–2025.

Além da madeira, essas espécies fornecem importantes subprodutos. Os resíduos de colheita, cascas, galhos e cavacos, somam cerca de 35 milhões de toneladas de biomassa, utilizada na geração de energia e na produção de carvão vegetal, que atinge 7,2 milhões de toneladas, evidenciando o aproveitamento integral da matéria-prima. A *Corymbia Citriodora* é a principal espécie para extração de óleo essencial, com produção estimada em 3,5 mil toneladas, destinada a cosméticos, produtos farmacêuticos e aromatizantes. Diversas espécies contribuem ainda para a produção de adubos orgânicos

e forragem, totalizando cerca de 1,2 milhão de toneladas, reforçando o uso sustentável de subprodutos da silvicultura (IBGE, 2025; IBÁ, 2025) (Tabela 1).

A densidade básica da madeira é um indicador tecnológico essencial para definir o uso industrial de cada espécie. Espécies como *Eucalyptus Grandis* ($\sim 0,40 \text{ t/m}^3$) são mais leves e indicadas para celulose de alto rendimento, enquanto *Eucalyptus Globulus* e *Eucalyptus Urophylla* ($\sim 0,54 \text{ t/m}^3$) combinam densidade intermediária e produtividade volumétrica, sendo ideais para papéis finos e tissue (Zanuncio e Takahashi, 2015; Oliveira *et al.*, 2020) (Figura 2).

Por sua vez, *Corymbia Citriodora* apresenta madeira mais densa ($\sim 0,65 \text{ t/m}^3$), adequada para aplicações estruturais e produtos de maior resistência, além de oferecer maior poder calorífico quando utilizada como biomassa, ainda que com menor produtividade volumétrica (Araújo e Silva, 2017; Santos *et al.*, 2019) (Figura 2).

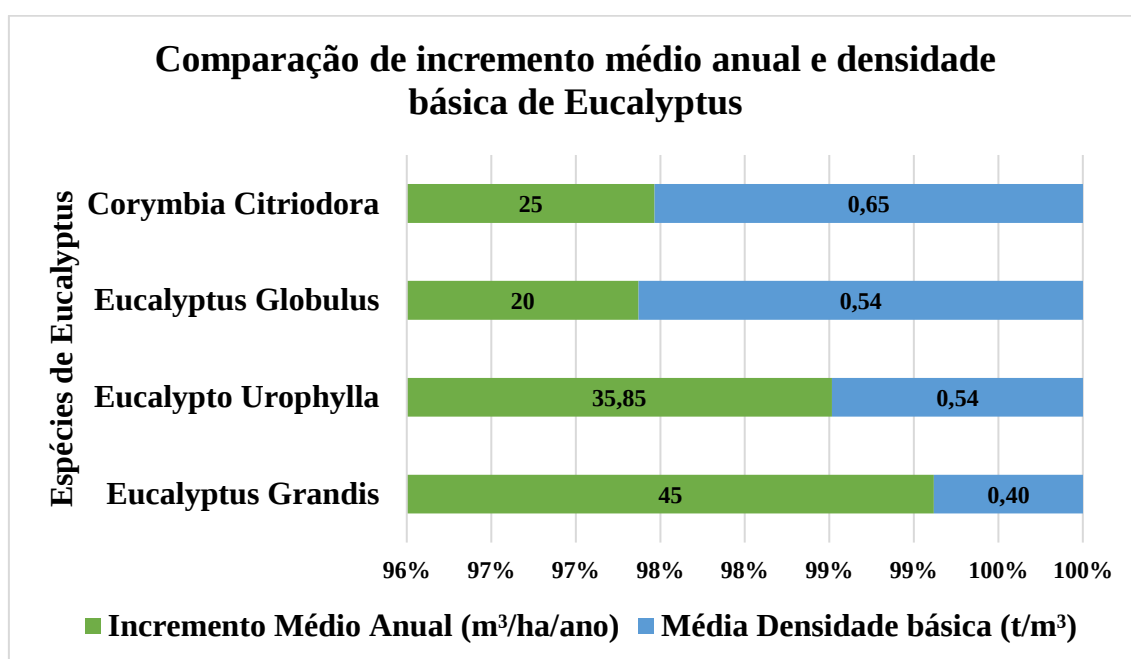


Figura 2. Comparação de incremento médio anual e densidade básica de Eucalyptus.
Fonte: Elaboração própria com base em relatórios setoriais e IBÁ/IBGE para 2024–2025.

A análise comparativa entre as espécies, considerando Incremento Médio Anual (IMA) e densidade básica, evidencia um trade-off ¹entre crescimento volumétrico e resistência da madeira. O *Eucalyptus grandis* e seus híbridos apresentam o maior IMA,

¹ Indica que não se consegue maximizar simultaneamente todas as características; é preciso escolher a melhor combinação de acordo com o objetivo do plantio — seja produção de celulose, madeira serrada ou energia.

com aproximadamente $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, indicando alto potencial produtivo para celulose e biomassa.

O *Eucalyptus Urophylla* apresenta IMA intermediário ($\sim 35,85 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e densidade mais elevada ($0,54 \text{ t/m}^3$), tornando-se versátil para celulose, energia e carvão vegetal. Já o *Eucalyptus globulus* possui menor IMA ($\sim 20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), porém densidade similar à de *Eucalyptus Urophylla*, destacando-se pela qualidade das fibras para produção de papéis finos. Dessa forma, a escolha da espécie mais adequada depende da combinação entre produtividade e propriedades tecnológicas da madeira, considerando os objetivos do plantio e a finalidade industrial (Figura 2).

4.2 ESTIMATIVAS DE BIOMASSA, SEQUESTRO DE CARBONO E VALOR ECONÔMICO DAS PLANTAÇÕES

A estimativa da biomassa acima do solo (B) obtida neste estudo variou entre aproximadamente $10,8 \text{ t/ha/ano}$ em *Eucalyptus Globulus* e $19,36 \text{ t/ha/ano}$ em *Eucalyptus Urophylla*. Esses valores (Tabela 2) estão em consonância com a literatura, o que indica que várias espécies de *Eucalyptus* são altamente produtivos em termos de biomassa, especialmente quando cultivados em condições favoráveis de manejo, clima e solo (Schumacher, Witschoreck e Calil, 2010; Rodrigues, Pelissari e Lopes, 2025).

A diferença observada entre espécies reflete fatores genéticos e fisiológicos, como taxa de crescimento e densidade da madeira. Estudos demonstram que espécies com maior densidade básica e taxa volumétrica tendem a acumular mais biomassa por hectare, como observado em *Eucalyptus Urophylla*, que apresentou o maior valor neste estudo. Resultados semelhantes foram encontrados por Ávila et al. (2018), que mostraram que eficiência no uso da luz e vigor genético são determinantes do acúmulo de biomassa em povoamentos de eucalipto (Tabela 2).

Além disso, a alta produtividade de biomassa indica que esses plantios têm grande potencial como sumidouros de carbono, pois parte significativa da biomassa acumulada acima do solo corresponde a carbono orgânico fixado. Estudos anteriores evidenciam que plantações jovens de eucalipto podem acumular carbono na ordem de 7 a $8 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, reforçando a relevância ambiental desse gênero florestal (Latifah & Sulistiyono, 2013) (Tabela 2).

Tabela 2. Resultado da estimativa da Biomassa acima do solo (B)

Espécie	B(t/há/ano)
Eucalyptus Grandis	18,00
Eucalyptus Urophylla	19,36
Eucalyptus Globulus	10,80
Corymbia Citriodora	16,25

Fonte: Elaboração própria conforme resultado da pesquisa.

A variação entre espécies também destaca a importância do manejo silvicultural, incluindo densidade de plantio, adubação e escolha de genótipos, que podem influenciar significativamente a produtividade. Conforme apontam Schumacher, Witschoreck & Calil (2010), o manejo adequado potencializa a produção de biomassa e, consequentemente, o estoque de carbono, demonstrando que o sucesso econômico e ambiental das plantações está intimamente ligado a práticas de manejo sustentável (Tabela 2).

A Tabela 3 apresenta os resultados da estimativa do sequestro de carbono (C) para as diferentes espécies avaliadas. Observa-se que a espécie *Eucalyptus urophylla* apresentou o maior potencial de sequestro de carbono, com 9,68 t/ha/ano, seguida por *Eucalyptus grandis*, com 9,00 t/ha/ano, e *Corymbia citriodora*, com 8,12 t/ha/ano. Por outro lado, *Eucalyptus globulus* apresentou o menor valor estimado, com 5,4 t/ha/ano.

Esses resultados indicam que espécies com maior produtividade florestal e maior produção de biomassa tendem a apresentar maior capacidade de sequestro de carbono. De acordo com Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2024), plantios comerciais de eucalipto no Brasil apresentam elevada eficiência na fixação de carbono atmosférico devido ao rápido crescimento e à alta produtividade das espécies utilizadas em sistemas de silvicultura intensiva.

Tabela 3. Resultado da estimativa do sequestro de Carbono (C)

Espécie	Sequestro de Carbono (t/ha/ano)
Eucalyptus Grandis	9,00
Eucalyptus Urophylla	9,68
Eucalyptus Globulus	5,4
Corymbia Citriodora	8,12

Fonte: Elaboração própria conforme resultado da pesquisa.

O desempenho superior de *Eucalyptus urophylla* pode estar associado à sua elevada taxa de crescimento e adaptação às condições tropicais, características que favorecem maior acúmulo de biomassa ao longo do ciclo produtivo. Estudos indicam que espécies do gênero *Eucalyptus* podem apresentar elevadas taxas de captura de carbono quando cultivadas em sistemas de manejo adequado, contribuindo significativamente para estratégias de mitigação das mudanças climáticas (IPCC, 2019).

Por sua vez, o menor valor observado para *Eucalyptus globulus* pode estar relacionado às diferenças nas condições de adaptação e produtividade dessa espécie em determinadas regiões do Brasil, uma vez que ela apresenta melhor desempenho em regiões de clima mais ameno.

Assim, os resultados apresentados na Tabela 3 reforçam a importância da escolha adequada das espécies florestais em plantios comerciais, considerando não apenas a produtividade econômica, mas também o potencial de contribuição para o sequestro de carbono e para a provisão de serviços ecossistêmicos associados à mitigação das mudanças climáticas.

A Tabela 4 apresenta os resultados da estimativa do valor econômico da produção (VE) para as espécies avaliadas. Observa-se que *Eucalyptus grandis* apresentou o maior valor econômico estimado (R\$ 7.875,00/ha), seguido por *Eucalyptus urophylla* (R\$ 6.273,75/ha). Já *Eucalyptus globulus* apresentou valor intermediário (R\$ 3.400,00/ha), enquanto *Corymbia citriodora* apresentou o menor valor econômico (R\$ 3.000,00/ha).

Tabela 4. Resultado da estimativa do valor econômico da produção (VE)

Espécie	Valor econômico (R\$/ha)
Eucalyptus Grandis	7.875,00
Eucalyptus Urophylla	6.273,75
Eucalyptus Globulus	3.400,00
Corymbia Citriodora	3.000,00

Fonte: Elaboração própria conforme resultado da pesquisa.

Esses resultados demonstram que espécies com maior produtividade florestal tendem a gerar maior retorno econômico por área cultivada, uma vez que o valor econômico está diretamente relacionado ao volume de madeira produzido e ao preço

médio do produto no mercado. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2025), os plantios comerciais de espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam elevada produtividade e forte importância econômica no setor florestal brasileiro, contribuindo significativamente para a geração de renda e para o desenvolvimento da cadeia produtiva da madeira.

Além disso, estudos recentes indicam que a escolha de espécies com maior produtividade e adaptação às condições locais pode aumentar significativamente a rentabilidade dos plantios florestais (Silva et al., 2022; Gonçalves et al., 2023). Dessa forma, os resultados apresentados na Tabela 4 reforçam a relevância do planejamento silvicultural e da seleção adequada de espécies para maximizar o retorno econômico da produção florestal.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstra que é possível integrar produtividade econômica, sequestro de carbono e serviços ecossistêmicos em plantios de eucalipto. Essa conclusão foi alcançada a partir de uma análise sistemática em duas etapas: inicialmente, realizou-se um levantamento descritivo das áreas de florestas plantadas e das principais espécies cultivadas, considerando parâmetros de produtividade volumétrica e densidade básica da madeira; em seguida, esses dados foram utilizados no Modelo Bioeconômico Integrado para estimar a biomassa acima do solo, o sequestro de carbono e o valor econômico das plantações.

A comparação entre espécies revelou o potencial simultâneo de produção de madeira, geração de biomassa e captura de carbono, permitindo identificar aquelas com maior retorno econômico e ambiental. Dessa forma, o modelo mostrou-se uma ferramenta eficiente para avaliar, de forma integrada, as dimensões produtiva, econômica e ambiental dos plantios, fornecendo subsídios para planejamento florestal, seleção adequada de espécies e formulação de políticas públicas voltadas à sustentabilidade e à mitigação das mudanças climáticas.

O modelo demonstrou ser eficaz para avaliar o potencial das plantações na mitigação de carbono, na promoção da economia circular e no planejamento de estratégias de manejo sustentável, fornecendo subsídios técnicos e estratégicos para decisões de gestão florestal e formulação de políticas públicas.

Espécies como *Eucalyptus Urophylla* apresentaram maior acúmulo de biomassa e sequestro de carbono, enquanto *Eucalyptus Grandis* apresentou o maior valor econômico estimado por hectare, mostrando que a seleção de espécies deve considerar simultaneamente produtividade, propriedades tecnológicas da madeira e retorno econômico. Além disso, o estudo reforça a importância do aproveitamento integral de subprodutos, como cascas, galhos e cavacos, utilizados para gerar energia, carvão vegetal, adubos e óleos essenciais, promovendo a economia circular e aumentando a sustentabilidade do setor florestal.

Entre as limitações do estudo, destaca-se que a estimativa de biomassa e sequestro de carbono foi baseada em modelos alométricos simplificados, que, embora confiáveis, não capturam todas as variações regionais de solo, clima e manejo. Além disso, o estudo utilizou dados médios de produtividade e densidade da madeira, sem detalhamento por idade de corte ou diferentes regimes de manejo ao longo do ciclo produtivo. Aspectos econômicos, como variações de mercado ou custos operacionais, foram considerados de forma agregada, sem análise detalhada de cenários de sensibilidade econômica.

Para trabalhos futuros, recomenda-se validar e aprimorar o modelo bioeconômico com dados de longo prazo, incluindo diferentes idades de corte, regimes de manejo e respostas a variações climáticas. É importante também estender a análise para impactos regionais, considerando características específicas de solo, clima e logística de transporte, além de integrar cenários econômicos dinâmicos que avaliem preços de mercado, custos de produção e políticas de incentivo à bioeconomia e à mitigação de carbono. Por fim, sugere-se uma avaliação mais detalhada dos serviços ecossistêmicos associados, como conservação de solo, biodiversidade e provisão de água, ampliando a abordagem do modelo para múltiplas dimensões de sustentabilidade.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE. PEVS 2020: com crescimento de 17,9%, valor da produção da silvicultura chega a R\$ 23,6 bilhões. Rio de Janeiro: IBGE, 6 out. 2021. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/releases/31802-pevs-2020-com-crescimento-de-17-9-valor-da-producao-de-silvicultura-e-extracao-vegetal-chega-a-r-23-6-bilhoes>. Acesso em: 6 mar. 2026.

AGROPÓS. Espécies de eucalipto cultivadas no mundo: características e usos. Campinas: AGROPÓS, 2020.

ASSIS, T. F.; MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C. Melhoramento genético de eucalipto no Brasil. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (org.). *Silvicultura do eucalipto no Brasil*. Santa Maria: UFSM, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. Sustentabilidade na produção de celulose e papel. São Paulo: ABTCP, 2012.

BROWN, S. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests*. Roma: FAO, 1997.

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

CRUZ, F.; SILVA, L.; MENDES, R. Óleos essenciais de *Eucalyptus staigeriana*: composição química e aplicações em perfumaria. *Revista Brasileira de Fragrâncias*, v. 12, n. 3, p. 45–56, 2024.

DHAKAD, A. K.; KUMAR, S.; SINGH, A. Aplicações dos óleos essenciais de eucalipto em cosméticos, fármacos e produtos de limpeza. *Journal of Essential Oil Research*, v. 29, n. 4, p. 320–332, 2017.

EMBRAPA. *Eucalipto: produção, manejo e sustentabilidade*. Brasília: Embrapa, 2019.

EMBRAPA. *Plantios de eucalipto para créditos de carbono e economia de baixo carbono*. Brasília: Embrapa, 2024.

GATTO, A.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F.; et al. Carbon storage in the soil and in the biomass of eucalypt plantations. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 4, p. 1069–1079, 2010. doi:10.1590/S0100-06832010000400007.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 301, p. 6–27, 2013.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório anual da indústria de celulose e papel 2024. Brasília: IBÁ, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. PEVS 2024 – área plantada e valor da silvicultura. Agência Gov EBC, 25 set. 2025. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202509/plantar-arvores-rende-mais-retorno-financeiro-do-que-abate-las-diz-ibge>. Acesso em: 6 mar. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produção da extração vegetal e da silvicultura – PEVS. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html>. Acesso em: 6 mar. 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Produção da extração vegetal e da silvicultura 2022 (PEVS 2022). Rio de Janeiro:

IBGE, 2022. Disponível em:

https://www.ibge.gov.br/biblioteca/visualizacao/periodicos/74/pevs_2022_v37_informativo.pdf. Acesso em: 6 mar. 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Tabela

de valor da produção da silvicultura e extração vegetal por produtos – SIDRA PEVS.

Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em:

<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2023>. Acesso em: 6 mar. 2026.

POTTS, B. M. *Genetics of Eucalyptus*. Melbourne: CSIRO Publishing, 2004.

REUTERS. Políticas de bioeconomia e manejo sustentável do eucalipto no Brasil. São Paulo: Reuters, 2024.

RODRIGUES, C. K.; PELISSARI, A. L.; LOPES, E. da S. Estimativa da produção de biomassa por componente da árvore em povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp.

Scientia Plena, v. 21, n. 2, mar. 2025. doi:10.14808/sci.plena.2025.020202.

SANTOS, P. E. T.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, P. H. M. *Corymbia citriodora*:

aspectos silviculturais e potencial produtivo no Brasil. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2021.

SANTOS, R.; OLIVEIRA, T.; LIMA, J. Sequestro de carbono em plantações de

eucalipto: oportunidades para créditos de carbono. *Revista Brasileira de Engenharia Florestal*, v. 20, n. 2, p. 110–123, 2024.

SCIENCE DIRECT. Eucalyptus in agrosilvopastoral systems: An alternative for carbon sequestration and the production of timber. 2025. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666719325000688>. Acesso em: 6 mar. 2026.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em

povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS.

Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 17–22, 2011. doi:10.5902/198050982743.

SHIEKH, M. A.; KHAN, M. S.; ALI, R. *Eucalyptus globulus* e seus óleos essenciais:

aplicações terapêuticas e farmacológicas. *Phytotherapy Research*, v. 38, n. 6, p. 2900–2915, 2024.

SILVEIRA, M. *Eucalipto e bioeconomia: produtividade, sustentabilidade e serviços ecossistêmicos*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2021.

SILVA, J. C.; COSTA, R. B.; OLIVEIRA, E. B. Produtividade e adaptação de

Eucalyptus globulus em diferentes condições edafoclimáticas no Brasil. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 50, n. 134, 2022.

SILVA, C. A.; SILVA, C. K.; CARVALHO, S. de P. C. E.; RODRIGUEZ, L. C. E. Estimation of aboveground carbon stocks in *Eucalyptus* plantations using LIDAR. In: *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium – IGARSS*, Hoboken (NJ), EUA, 2013. doi:10.1109/IGARSS.2013.6721324.

SPRINGER NATURE. Optimization of Eucalyptus essential oil extraction by applying response surface methodology in traditional distillation and its adaption to solar thermal process. *Sustainable Energy Research*, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/pii/S40807-024-00118-y>. Acesso em: 6 mar. 2026.

WINK, C.; REINERT, D. J.; MÜLLER, I.; REICHERT, J. M.; JACOMET, L. A idade das plantações de *Eucalyptus* sp. influenciando os estoques de carbono. *Ciência Florestal*, v. 23, n. 2, p. 333–343, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Genève: IPCC, 2006.

KLEMPERER, W. D. *Forest Resource Economics and Finance*. New York: McGraw-Hill, 1996.

PEARCE, D. *The Economic Value of Forest Ecosystems*. London: Earthscan, 2001.