



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

GIOVANNA DE SOUZA LIMA

**ESTIMATIVA DA BIOMASSA AÉREA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA NO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Prof. Dr. SAMUEL DE PÁDUA CHAVES E CARVALHO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2026



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

GIOVANNA DE SOUZA LIMA

**ESTIMATIVA DA BIOMASSA AÉREA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA NO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. SAMUEL DE PÁDUA CHAVES E CARVALHO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO - 2026

ESTIMATIVA DA BIOMASSA AÉREA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

GIOVANNA DE SOUZA LIMA

APROVADA EM: 26/06/2026

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **SAMUEL DE PADUA CHAVES E CARVALHO**
Data: 03/07/2026 14:24:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. SAMUEL DE PÁDUA CHAVES E CARVALHO – UFRRJ
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **RAFAELLA DE ANGELI CURTO**
Data: 03/07/2026 15:00:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. RAFAELLA DE ANGELI CURTO – UFRRJ
Membro

Documento assinado digitalmente
 **MATHEUS SEVERO DE SOUZA KULMANN**
Data: 03/07/2026 14:38:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. MATHEUS SEVERO DE SOUZA KULMANN
Membro

*“O bom Deus não poderia inspirar desejos
irrealizáveis (...).”* História de uma Alma -
Santa Teresinha do Menino Jesus

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus pela oportunidade de vivenciar todos os momentos que a graduação pôde me proporcionar.

Agradeço ao meu orientador Samuel de Pádua pelo aconselhamento, paciência e dedicação durante esse processo. Assim como, os participantes da banca Professora Rafaella Curto e Engenheiro Florestal Matheus Kulmann por terem aceitado compartilhar seus conhecimentos e aperfeiçoar este trabalho.

Agradeço aos meus pais, Alessandra e Adilson, aos meu irmãos Jéssica, Caroline e Júnior e sobrinhos, Miguel e Gabriel, por todas as palavras de incentivo e apoio durante esses anos, por me ajudarem a enxergar o meu valor para seguir os meus sonhos e ambições.

Ao meu noivo, Matheus Gonçalves, pelo companheirismo nesses anos e por estar ao meu lado nos momentos de incertezas.

Ao LAMFLOR por ter sido um espaço de desenvolvimento onde fiz bons amigos e me proporcionou trabalhar com professores que são minhas grandes referências na área de Mensuração e Manejo Florestal e contribuíram significativamente na construção do meu conhecimento e no meu desenvolvimento como profissional e pessoa. Assim como, meus amigos de graduação que me acompanharam e auxiliaram durante esses anos.

RESUMO

As mudanças climáticas têm evidenciado a necessidade de ações mitigadoras para a redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, bem como para o aumento da estocagem de carbono na superfície terrestre. Nesse contexto, a biomassa florestal destaca-se como um componente essencial, por representar um dos principais reservatórios de carbono nos ecossistemas terrestres. O acompanhamento da distribuição espacial desse componente em escala estadual fornece subsídios para o planejamento ambiental e para a formulação de políticas públicas voltadas à conservação e à restauração florestal. O presente estudo teve como objetivo analisar a cobertura florestal e a distribuição espacial da biomassa acima do solo no estado do Rio de Janeiro, com base em dados de inventário florestal e técnicas de geoprocessamento. A base de dados utilizada foi do Inventário Florestal Nacional (IFN), as estimativas de biomassa foram obtidas por meio de equações alométricas específicas para as tipologias Floresta Ombrófila Densa (FOD) e Floresta Estacional Semidecidual (FES), implementadas no aplicativo Tropical Biomass & Carbon, enquanto a espacialização foi realizada pelo método de interpolação do Inverso da Distância Ponderada (IDW). A análise da cobertura florestal indicou aumento da área ocupada por vegetação nativa no período de 2014 e 2024, com incremento aproximado de 39 mil hectares em todo o estado. A biomassa média estimada foi de 62,44 Mg ha⁻¹, sendo a Floresta Ombrófila Densa a tipologia com maior contribuição para esse valor. A distribuição espacial evidenciou um padrão heterogêneo, com maiores estoques de biomassa nas regiões Costa Verde, Médio Paraíba e Metropolitana, e menores valores nas regiões Norte Fluminense e Centro-Sul Fluminense. Os resultados indicam que a distribuição da biomassa está associada à interação entre fatores ambientais, à predominância das tipologias florestais, ao histórico de uso e ocupação da terra e à presença de áreas protegidas, fornecendo informações relevantes para o planejamento ambiental, a conservação da Mata Atlântica e estratégias de mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Geotecnologia, Tipologia florestal e Regiões político-administrativas

ABSTRACT

Climate change has highlighted the need for mitigation actions aimed at reducing greenhouse gas emissions into the atmosphere, as well as increasing carbon storage in terrestrial ecosystems. In this context, forest biomass stands out as an essential component, as it represents one of the main carbon reservoirs in terrestrial ecosystems. Monitoring the spatial distribution of this component at the state level provides valuable information for environmental planning and the development of public policies focused on forest conservation and restoration. This study aimed to analyze forest cover and the spatial distribution of aboveground biomass in the state of Rio de Janeiro, Brazil, based on data from the National Forest Inventory (NFI) and geoprocessing techniques. Biomass estimates were obtained using allometric equations specific to the Dense Ombrophilous Forest (FOD) and Seasonal Semideciduous Forest (FES) forest typologies, implemented in the Tropical Biomass & Carbon application, while the spatial distribution was generated using the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method. Forest cover analysis indicated an increase in the area occupied by native vegetation between 2014 and 2024, with an estimated gain of approximately 39 thousand hectares across the state. The estimated mean aboveground biomass was 62.44 Mg ha⁻¹, with Dense Ombrophilous Forest contributing the highest values. The spatial distribution revealed a heterogeneous pattern, with the highest biomass stocks occurring in the Costa Verde, Médio Paraíba, and Metropolitan regions, and the lowest values in the Norte Fluminense and Centro-Sul Fluminense regions. The results indicate that biomass distribution is associated with the interaction of environmental factors, the predominance of forest typologies, land-use and land-cover history, and the presence of protected areas, providing relevant information for environmental planning, Atlantic Forest conservation, and climate change mitigation strategies.

Keywords: Geotechnology, Forest typology and Political-administrative regions

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Mudanças climáticas e importância das florestas	2
2.2 Cobertura florestal no estado do Rio de Janeiro	3
2.3 Estimativa da biomassa florestal.....	4
2.4 Análise espaciais de dados florestais.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1 Área de estudo.....	6
3.2 Base de dados	7
3.3 Análise dos dados florestais	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
4.1 Estimativa da biomassa acima do solo.....	9
4.2 Caracterização da cobertura florestal	11
4.3 Distribuição espacial da biomassa área no estado do Rio de Janeiro.....	13
4.4 Validação da interpolação IDW	17
5. CONCLUSÃO.....	18
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
ANEXO A – APRESENTAÇÃO DAS EQUAÇÕES ALÓMETRICAS CONSIDERADAS NO APLICATIVO TROPICAL B&C.....	24

1. INTRODUÇÃO

Dada a necessidade de ações mitigadoras para reversão do cenário das mudanças climáticas, medidas para descarbonização de processos industriais, contenção do desmatamento e queimadas, manejo adequado do solo e maximização da remoção do dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera têm sido discutidas amplamente pelas diferentes nações ao redor do mundo.

O Brasil registrou, em 2024, uma emissão líquida de 2.145 GtCO₂e. Entre os setores que mais contribuíram para essas emissões, destacam-se as mudanças no uso da terra, representadas principalmente pelo desmatamento, responsáveis por 42% do total, seguidas pela agropecuária e pelo setor de energia (SEEG, 2025).

As florestas são os principais sumidouros terrestres de carbono, devido à sua alta capacidade de absorção e armazenamento de CO₂. O estudo de Harris *et al.* (2021) analisou dados entre 2001 e 2019, do fluxo de carbono florestal, concluindo que as florestas atuaram como um sumidouro líquido significativo removendo 7,6 GtCO₂e/ano da atmosfera. Por isso, são consideradas essenciais para a mitigação das mudanças climáticas e o alcance de metas globais.

A quantificação da biomassa acima do solo permite estimar indiretamente os estoques de carbono armazenados na vegetação, fornecendo subsídios para ações de conservação, restauração florestal e elaboração de políticas voltadas à mitigação das emissões de gases de efeito estufa (Silveira *et al.*, 2008).

Além da quantificação da biomassa, compreender sua distribuição espacial é fundamental para identificar áreas com maior potencial de estoque de carbono, subsidiando ações de conservação, restauração florestal e planejamento ambiental (Santoro *et al.*, 2021).

Nesse contexto, o emprego de ferramentas de geotecnologias, associadas a métodos de modelagem e interpolação espacial, possibilita ampliar a representatividade das informações obtidas em inventários florestais, permitindo a geração de mapas contínuos da distribuição da biomassa em grandes extensões territoriais (Wang *et al.*, 2023).

O aplicativo Tropical Biomass & Carbon (TB&C) constitui uma ferramenta desenvolvida para estimar biomassa acima do solo e estoques de carbono a partir de dados de inventário florestal, utilizando modelos calibrados com diferentes formações vegetais brasileiras (David, 2023).

A partir dos dados gerados através da estimativa da biomassa, técnicas de interpolação espacial podem ser adotadas para representar sua distribuição contínua na paisagem. Entre as técnicas, o método de interpolação pela ponderação inversa da distância (IDW) destaca-se por ser um interpolador determinístico utilizado em estudos ambientais, no qual a influência dos pontos amostrais diminui à medida que aumenta a distância em relação aos locais estimados, possibilitando a elaboração de mapas da distribuição espacial (Kodong *et al.*, 2023).

No estado do Rio de Janeiro, compreender a distribuição espacial da biomassa florestal é relevante em razão do histórico de fragmentação dos remanescentes florestais, que evidencia a elevada fragilidade ecológica do território. Inserido integralmente no bioma Mata Atlântica, o estado abriga remanescentes florestais que desempenham importante função ecológica na conservação da biodiversidade, na proteção dos recursos hídricos e no armazenamento de carbono.

A cobertura florestal estadual é composta predominantemente por formações de Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual, que apresentam características estruturais distintas e, conseqüentemente, diferentes capacidades de acúmulo de biomassa (Serviço Florestal Brasileiro, 2018).

Apesar da relevância desses remanescentes para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, ainda são necessários estudos que permitam compreender a distribuição espacial dos estoques de biomassa e suas variações entre diferentes formações florestais. Essas informações são essenciais para subsidiar estratégias de conservação, monitoramento ambiental e planejamento de ações relacionadas à mitigação das mudanças climáticas.

Considerando a heterogeneidade ambiental do estado do Rio de Janeiro e as diferenças estruturais entre suas formações florestais, parte-se da hipótese de que a biomassa acima do solo apresenta distribuição espacial heterogênea, variando entre tipologias florestais e regiões do estado. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo analisar a cobertura florestal e a distribuição espacial da biomassa acima do solo no estado do Rio de Janeiro, com base em dados de inventário florestal e técnicas de geoprocessamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mudanças climáticas e importância das florestas

As mudanças climáticas podem ser definidas como alterações de longo prazo nos padrões climáticos observados na Terra. Essas alterações podem decorrer de fatores naturais e antrópicos, sendo atualmente associadas principalmente ao aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, que intensifica o efeito estufa natural e contribui para o aquecimento global (Tilio, 2010).

Segundo dados do IPCC (2023) as ações antrópicas afetam eventos extremos climáticos e meteorológicos, resultando em um cenário de aumento significativo da temperatura média global. Esse cenário propicia alterações na resiliência terrestre afetando ao meio ambiente, favorecendo situações de insegurança alimentar, hídrica, morbidade humana e infraestrutura urbana.

As florestas desempenham papel crucial na mitigação das mudanças climáticas por atuarem como sumidouros de dióxido de carbono (CO₂) presente na atmosfera. O carbono é armazenado em diferentes compartimentos, sendo essa biomassa acima e abaixo do solo como folhas, galhos, tronco, serapilheira, raízes e outros. Além disso, as florestas influenciam o clima por meio da regulação dos fluxos de água e energia, contribuindo para a manutenção de condições climáticas mais estáveis (IPCC, 2019).

Segundo Harris *et al.* (2021) entre os anos 2001 e 2019, as florestas globais atuaram como um sumidouro líquido de aproximadamente 7,6 GtCO₂e por ano, resultado de taxas de remoção de carbono que superam as emissões associadas ao desmatamento. Nesse contexto, a biomassa florestal destaca-se como um dos principais reservatórios de carbono dos ecossistemas terrestres, tornando sua quantificação essencial para a estimativa de estoques de carbono e para a avaliação do potencial de mitigação das florestas.

Perante a necessidade de ações mitigadoras o Brasil assumiu, por meio do Acordo de Paris, metas no âmbito das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) para o período de 2030 a 2035. As metas não contemplam apenas a redução das emissões de gases de efeito estufa, assim como, a ampliação dos mecanismos de remoção de carbono da atmosfera. Dentre os setores produtivos do país destaca-se Mudanças no Uso da Terra e Floresta, especialmente em função do desmatamento florestal (SEEG, 2024).

Entre as ações previstas destaca-se a restauração da vegetação nativa, por meio do Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG), que estabelece a meta de recuperar 12 milhões de hectares até 2030. Complementarmente, a NDC incentiva a adoção de práticas de manejo sustentável da terra, recuperação de pastagens degradadas e expansão de

sistemas integrados de produção, visando ampliar a capacidade de remoção de dióxido de carbono da atmosfera e contribuir para o alcance das metas nacionais de redução das emissões de gases de efeito estufa (Brasil, 2024).

No contexto das metas nacionais de mitigação, o estado do Rio de Janeiro apresentou emissões líquidas de 69,4 MtCO₂e em 2024, o setor de Energia represente a maior parcela das emissões estaduais, com aproximadamente 62% (SEEG, 2024).

Embora o estado fluminense apresente menor participação das emissões provenientes das Mudanças no Uso da Terra e Floresta (2,8%) em comparação com outras unidades da Federação como Mato Grosso tendo o setor representando (54,4%) das emissões e Pará (74%), sua remoção líquida de carbono se manteve estável nos últimos anos, em torno de 2,2 MtCO₂e. Apesar da reduzida participação do setor de Mudanças no Uso da Terra e Floresta nas emissões estaduais, a manutenção da capacidade de remoção de carbono permanece dependente da conservação dos remanescentes florestais existentes (SEEG, 2024).

Esses resultados evidenciam o potencial de ampliação da remoção de carbono por meio da conservação dos remanescentes florestais e a recuperação da vegetação nativa, contribuindo para os compromissos assumidos pelo Brasil na NDC. Reforçando a importância de estudos voltados à quantificação e à distribuição espacial da biomassa florestal.

2.2 Cobertura florestal no estado do Rio de Janeiro

A cobertura florestal do estado do Rio de Janeiro sofreu intenso processo de desmatamento, principalmente, nos períodos Brasil pré-colonial e na expansão cafeeira no estado, combinada com as técnicas produtivas resultantes do modelo de latifúndio, trabalho escravo e monocultura de exportação baseado na exploração intensiva dos recursos naturais e na percepção de que a terra e seus recursos eram inesgotáveis. Como consequência, ocorreram mudanças expressivas na composição da flora e da fauna, além da intensificação de processos de degradação ambiental em diferentes regiões do estado (Soffiatti, 1997).

O Serviço Florestal Brasileiro (2018) ao realizar o diagnóstico do Inventário Florestal Nacional para o estado do Rio de Janeiro concluiu que a área de florestas naturais estimada é de aproximadamente 1,3 milhões de hectares com base nos dados do INEA. Os remanescentes florestais são compostos predominantemente pelas tipologias Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual, que representam aproximadamente 69% e 27% das áreas classificadas como florestais, respectivamente.

A Floresta Ombrófila Densa caracteriza-se por apresentar elevada heterogeneidade estrutural e florística, formando um mosaico de remanescentes em diferentes estágios de regeneração. Sua fisionomia é influenciada por fatores como altitude, declividade, características do solo e condições microclimáticas, que determinam variações na estrutura da vegetação. Diferentemente das formações estacionais, essa tipologia não apresenta caducifoliedade, mantendo a vegetação permanentemente verde, condição que, associada aos fatores edafoclimáticos, contribui para sua fisionomia e integridade ecológica (Ramos *et al.*, 2019; Medeiros *et al.*, 2012).

A Floresta Estacional Semidecidual (FES) é uma fitofisionomia característica dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, marcada pela perda parcial das folhas durante os períodos de estiagem, em resposta à sazonalidade climática. Sua distribuição e estrutura são influenciadas por fatores como topografia, hidrografia, profundidade do lençol freático e características dos solos. A FES frequentemente se apresenta como um mosaico de fragmentos em diferentes estágios sucessionais, resultado de processos naturais e de intervenções antrópicas ao longo do tempo. Essa heterogeneidade estrutural influencia diretamente sua biodiversidade, dinâmica ecológica e capacidade de armazenamento de biomassa e carbono (Dias e Barreira, 2024).

A maioria dos remanescentes florestais do estado do Rio de Janeiro é composto por estágios sucessionais jovens e não remanescente da floresta primária original, caracterizadas por elevado grau de isolamento, intensos efeitos de borda e reduzida diversidade de espécies. Segundo os autores, a fragmentação da paisagem aumenta a vulnerabilidade ambiental, favorecendo de degradação dos ecossistemas (Nehren *et al.*, 2013).

Henud *et al.* (2021) destacam que os remanescentes da Mata Atlântica desempenham importante papel no armazenamento de carbono, apesar de aproximadamente 91% se encontrem fragmentados. Segundo os autores, o tamanho dos fragmentos, os efeitos de borda e o histórico de uso da terra influenciam diretamente os estoques de biomassa e carbono, resultando em elevada variabilidade entre os remanescentes florestais.

Além da fragmentação, o estado de conservação dos remanescentes também influencia sua capacidade de armazenamento de carbono. Berenguer *et al.* (2014), ao analisarem florestas tropicais amazônicas, observaram que fragmentos florestais degradados, embora apresentem redução nos estoques de carbono em comparação às florestas conservadas, ainda armazenam quantidades significativamente superiores às encontradas em florestas secundárias em processo de regeneração após o corte raso.

2.3 Estimativa da biomassa florestal

A biomassa florestal corresponde à massa total de matéria orgânica presente nos organismos vegetais vivos de uma floresta, incluindo principalmente árvores, arbustos e seus sistemas radiculares. Considerando a característica física da biomassa vegetal, principalmente, plantas lenhosas, cerca de 50% da composição nutricional da biomassa seca vegetal é composta por carbono, em razão dessa característica muitos estudos adotam um fator de conversão de 0,5 (Houghton *et al.*, 2009).

Em ecossistemas florestais, a maior parte da biomassa está concentrada na porção acima do solo, especialmente nas árvores, que representam a principal fonte de armazenamento de carbono (Houghton *et al.*, 2009).

Berenguer *et al.* (2014) ao avaliarem os efeitos das perturbações nos estoques de carbono em florestas tropicais na Amazônia, concluíram que em fragmentos florestais que sofreram reduções no estoque de biomassa e carbono causadas por distúrbios humanos, ainda apresentaram o reservatório acima do solo, árvores, palmeiras e lianas, como principal compartimento de armazenamento de carbono, em todas as classes de florestas analisadas.

A biomassa florestal pode ser quantificada através de método direto e indireto, no primeiro método adota-se o valor real determinado em campo sendo caracterizado como um procedimento destrutivo, pois é necessário o corte das árvores e sua divisão em componentes para a pesagem no campo e posterior determinação do peso seco (Silveira *et al.*, 2008).

No método indireto a quantificação é feita através de modelos matemáticos utilizando dados oriundos de inventários florestais, nesse procedimento gera-se valores estimados da biomassa florestal, sendo economicamente mais viáveis, permitindo análises em maiores escalas espaciais, porém para obtenção de equações ajustadas com maior acurácia é necessário a obtenção de valores observados no campo, ou seja, dados reais de biomassa (Silveira *et al.* 2008).

A quantidade de biomassa presente em uma floresta varia em função de fatores bióticos e abióticos, como idade do povoamento, características genéticas, disponibilidade de nutrientes, condições climáticas, umidade do solo, altitude, estrutura da vegetação e histórico de perturbações. Portanto, a aplicação de modelos generalistas para diferentes condições ecológicas pode resultar em subestimação ou superestimação dos estoques de biomassa e, consequentemente, carbono (Silveira *et al.*, 2008).

Chaves *et. al.* (2014) ainda detalham que a geração de modelos robustos necessita de uma base de dados da biomassa obtidas por métodos destrutivos, que demandam elevado esforço operacional, custos financeiros e tempo de execução. Variáveis amplamente utilizadas em modelos alométricos, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total das árvores, também apresentam limitações de mensuração, sendo a obtenção da altura uma das etapas mais complexas, principalmente, em florestas tropicais de dossel fechado.

Embora modelos alométricos constituam a principal ferramenta para estimativa indireta da biomassa florestal, sua aplicação pode ser limitada pela disponibilidade de equações específicas para determinadas formações vegetais. Dessa forma, ferramentas computacionais que utilizam bases de dados consolidadas e métodos de simulação representam uma alternativa para ampliar a confiabilidade das estimativas em diferentes condições ecológicas (David, 2023).

O aplicativo Tropical Biomass & Carbon (TB&C) foi desenvolvido com o objetivo de aumentar a acurácia das estimativas de biomassa acima do solo em florestas tropicais brasileiras. A ferramenta utiliza uma base de dados composta por mais de 1.400 árvores obtidas em estudos destrutivos e emprega técnicas de simulação, como Monte Carlo e Bootstrap, para gerar parcelas virtuais compatíveis com as características informadas pelo usuário. A partir dessas simulações, são estimadas a biomassa acima do solo e o respectivo estoque de carbono, permitindo reduzir as incertezas inerentes às estimativas obtidas por modelos tradicionais (David, 2023).

2.4 Análise espaciais de dados florestais

Rosa (2005) define a geotecnologia sendo “o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informação com referência geográfica”. O autor afirma que a geotecnologia compreende um sistema integrado de análise utilizando hardware (equipamentos físicos), softwares (programas e códigos) e o fator humano para tomadas de decisões, abrangendo atividades relacionadas à gestão municipal, monitoramento ambiental, planejamento de negócios, agronegócio, prestação de serviços públicos e cartografia.

A aplicação das geotecnologias no setor florestal permite organizar e integrar informações espaciais provenientes de diferentes fontes, superando limitações dos métodos convencionais de levantamento de dados. Essas ferramentas auxiliam no planejamento e monitoramento dos recursos florestais por meio do cruzamento de variáveis ambientais, fornecendo informações essenciais para a gestão e conservação dos ecossistemas (Bolfe, Pereira e Madruga, 2004).

A análise espacial aplicada aos recursos florestais tem sido realizada por meio de diferentes abordagens, destacando-se os métodos geoestatísticos, o sensoriamento remoto e as técnicas de aprendizado de máquina. Essas ferramentas permitem modelar e estimar variáveis como biomassa e carbono a partir da integração de dados de inventário florestal, imagens de satélite e informações ambientais, contribuindo para uma melhor compreensão da distribuição espacial dos recursos florestais e subsidiando ações de monitoramento e gestão (Costa e Quintanilha, 2024).

A Interpolação Ponderada pelo Inverso da Distância (Inverse Distance Weighting – IDW) é um método determinístico de interpolação espacial baseado no princípio de que pontos amostrados mais próximos apresentam maior influência sobre os valores estimados do que pontos mais distantes. Nesse método, os valores desconhecidos são calculados a partir de uma combinação linear dos pontos amostrados, sendo os pesos atribuídos inversamente proporcionais à distância entre os pontos observados e a localização estimada (Akkala *et al.*, 2010).

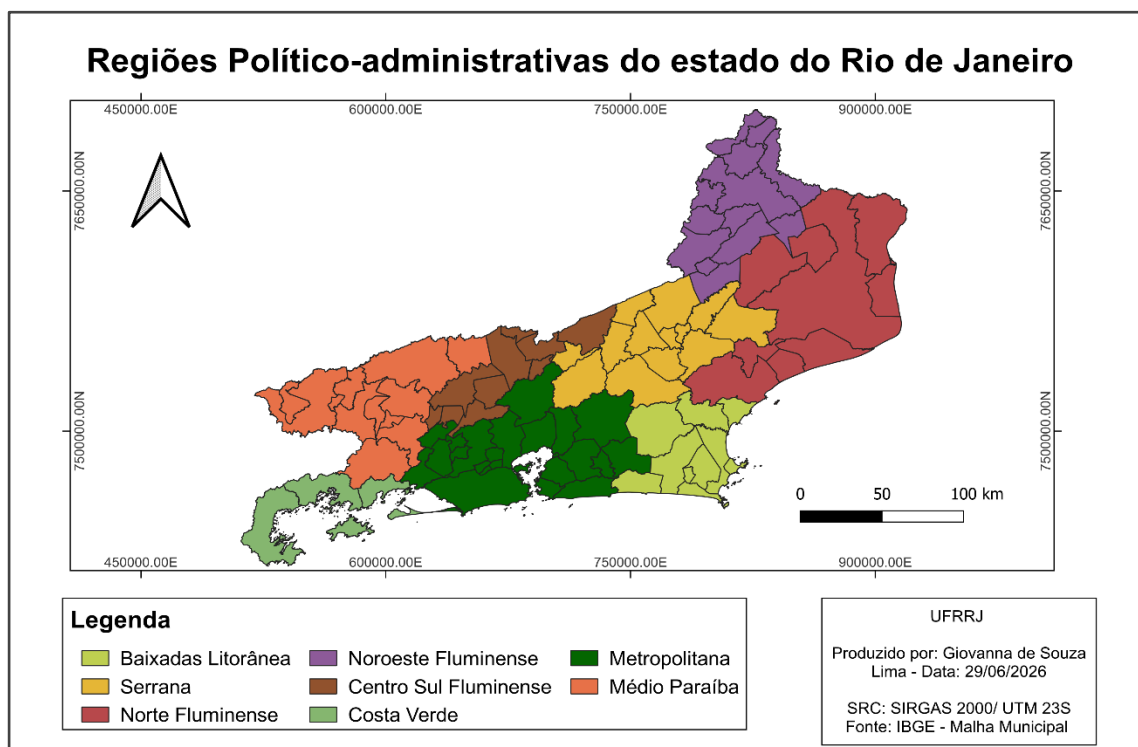
Munyati e Sinthumule (2021) destacam que a interpolação espacial é uma ferramenta eficiente para representar padrões de distribuição de atributos florestais a partir de um conjunto limitado de amostras. Segundo os autores, não existe um método universalmente superior, sendo a escolha da técnica dependente das características da variável analisada e da estrutura da vegetação. Em seu estudo, a interpolação ponderada pelo inverso da distância (IDW) apresentou melhor desempenho em áreas com maior variabilidade espacial, demonstrando potencial para representar tendências de distribuição da cobertura vegetal e subsidiar ações de conservação e manejo florestal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Para a análise regional da cobertura florestal e da biomassa acima do solo, adotou-se a divisão político-administrativa oficial do estado do Rio de Janeiro, composta por oito Regiões de Governo: Metropolitana (21), Noroeste Fluminense (13), Norte Fluminense (9), Serrana (13), Baixadas Litorâneas (10), Médio Paraíba (12), Centro-Sul Fluminense (11) e Costa Verde (3). Essa regionalização, estabelecida pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro, agrupa municípios com características territoriais semelhantes e é amplamente utilizada para fins de planejamento e gestão pública. A utilização dessa divisão permitiu avaliar e comparar a distribuição espacial da cobertura florestal e da biomassa entre as diferentes regiões do estado. (Figura 1).

Figura 1: Ilustração das divisões do estado do Rio de Janeiro pelas regiões político-administrativas



Fonte: Autor (2026)

O estado do Rio de Janeiro encontra-se integralmente inserido no bioma Mata Atlântica. Segundo o MapBiomas (2024), aproximadamente 30% de seu território é coberto por formações florestais.

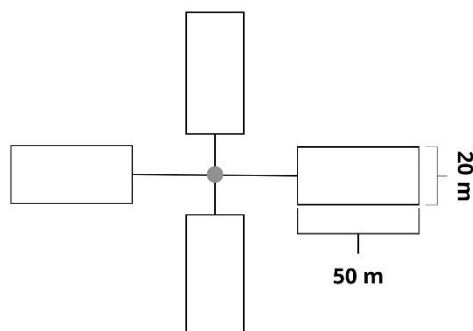
3.2 Base de dados

Como fonte de dados foi utilizado o Inventário Florestal Nacional (IFN), atividade coordenada pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB). No estado do Rio de Janeiro o inventário foi realizado entre os anos de 2013 e 2016, seguindo a metodologia descrita no manual de campo disponibilizado pelo Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF) versão atualizado em novembro de 2021.

No estado do Rio de Janeiro, o Inventário Florestal Nacional foi conduzido com base na grade nacional padrão de 20×20 km, composta por 117 conglomerados amostrais, complementada por uma intensificação da amostragem com 159 conglomerados adicionais em áreas de interesse da Secretaria de Estado do Ambiente, totalizando 276 pontos amostrais planejados (Serviço Florestal Brasileiro, 2018).

Para o IFN as subunidades possuem formato retangular e são dispostas no formato de cruz de malta, orientadas segundo os pontos cardeais (Figura 2), considerando o bioma mata atlântica o projeto determinou que cada subunidade possua de 20×50 m totalizando 1000 m^2 .

Figura 2: Representação da unidade amostral no estado do Rio de Janeiro para o Bioma Mata Atlântica



Fonte: Autor (2026)

A coleta de dados em campo contemplou variáveis quantitativas e qualitativas dos indivíduos arbóreos presentes nas unidades amostrais. A medição do diâmetro dos indivíduos foi através da fita diamétrica, com critério mínimo de inclusão igual ou superior a diâmetro na altura do peito (DAP) 10 cm medidos a partir da altura de 1,30m do solo. A medição da altura total (HT) decorreu pela medição de 3 indivíduos presentes na parcela por meio do clinômetro e as demais por estimativas de comparação com auxílio do podão graduado e vara telescópica (SFB, 2021).

Foram selecionados apenas indivíduos arbóreos pertencentes às unidades amostrais classificadas como formações florestais e com DAP acima de 10 cm. As variáveis consideradas foram diâmetro na altura do peito (DAP) e altura total (HT), assim como, as coordenadas das unidades amostrais (UA) e nome científico das espécies.

Para análise da cobertura florestal considerou-se o mapa de uso e ocupação do solo do Brasil obtido pelo MapBiomas para os anos de 2014 e 2024, delimitando ao estado do Rio de Janeiro de acordo com a base cartográfica do IBGE. Além disso, foram consideradas as regiões político-administrativas do estado do Rio de Janeiro com o objetivo de avaliar a distribuição

espacial da biomassa acima do solo e identificar possíveis padrões relacionados às características de uso e ocupação do território.

3.3 Análise dos dados florestais

A estimativa da biomassa acima do solo foi realizada por meio do aplicativo Tropical Biomass & Carbon (TB&C). O aplicativo utiliza como informações de entrada: DAP e HT, o bioma de ocorrência e o tipo de floresta (nativa ou plantada), além da composição de espécies, sendo indicado o uso da tipologia e o estado de ocorrência da base de dados (David, 2023).

As estimativas de biomassa acima do solo foram obtidas para cada indivíduo e depois contabilizado para unidade amostral, por meio de estimadores da amostragem casual simples foi possível extrapolar os resultados de cada subunidade para cada ponto do conglomerado.

Os valores estimados foram associados às respectivas coordenadas geográficas das unidades amostrais, constituindo a base de dados apenas com as informações das tipologias de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e Floresta Ombrófila Densa (FOD), totalizando 85 unidades amostrais no estudo, utilizadas nas análises florestais e na elaboração dos mapas de interpolação espacial da biomassa para o estado do Rio de Janeiro.

Além disso, foi considerado o DAP médio (cm) para cada unidade amostral (UA), HT média (m) e área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), sendo o último calculado pela Equação 1 e 2.

$$AB = \sum_{i=1}^n gi \quad (\text{Equação 1})$$

$$gi = \frac{\pi * DAP^2}{40000} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

gi = Área seccional (m^2)

AB = Área Basal (m^2)

DAP = Diâmetro na altura do peito

As análises foram realizadas nos softwares RStudio e QGIS versão 3.40.9. No RStudio foram executados o tratamento e a organização dos dados provenientes do Inventário Florestal Nacional (IFN), o cálculo da estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação) por tipologia florestal e por região político-administrativa, bem como, a validação da interpolação espacial, utilizando os pacotes gstat, sp, Metrics e dplyr.

No QGIS versão 3.40.9 foram realizados o processamento, a análise espacial e a representação cartográfica dos dados. A interpolação dos dados de biomassa foi meio do método da Ponderação do Inverso da Distância (Inverse Distance Weighting – IDW). As áreas das classes de uso e cobertura da terra foram obtidas por meio da ferramenta r.report, do módulo GRASS GIS, enquanto a quantificação da cobertura florestal por região foi realizada por meio de operações de interseção espacial e estatística zonal.

A qualidade da interpolação espacial foi avaliada por meio da validação cruzada (*Leave-One-Out Cross Validation* – LOOCV), procedimento amplamente empregado na avaliação de interpoladores espaciais (Faraco *et al.*, 2008; Baratto *et al.*, 2022).

Nesse procedimento, cada ponto amostral foi removido individualmente do conjunto de dados e seu valor foi estimado utilizando-se apenas os pontos remanescentes por meio do interpolador IDW. A comparação entre os valores observados e estimados permitiu calcular os indicadores estatísticos: Erro Absoluto Médio (MAE) E Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE, possibilitando avaliar o desempenho da interpolação em cada região político-administrativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estimativa da biomassa acima do solo

Para cada árvore foi gerado uma estimativa em quilograma (kg), considerando equações diferentes (Tabela 1) para cada tipologia florestal, a escolha das equações teve como premissa aquelas que apresentassem menor Erro Padrão Residual (Syx) e maior Coeficiente de Determinação (R^2).

Tabela 1. Equações de biomassa utilizadas pelo aplicativo Biomass&Carbon e suas estatísticas

FOD			
Equação	Autor	Syx	R^2
$\exp(-2.052+0.801*\log(d^2*ht))$	Moreira-Burguer and Delitti (2010)	11,3(%)	0.94
FES			
Equação	Autor	Syx	R^2
$\exp(-3.2369+1.5467*\log(d)+1.2860*\log(ht))$	Rasera (2019)	49,7(%)	0.78

FOD = Floresta Ombrófila Densa; FES = Floresta Estacional Semidecidual

Considerando a estimativa de biomassa, a tipologia Floresta Ombrófila Densa (FOD) apresentou média de 74,17 Mg ha⁻¹, com os maiores valores observados nas regiões Costa Verde e Médio Paraíba. Para a Floresta Estacional Semidecidual (FES), a biomassa média foi de 45,80 Mg ha⁻¹, destacando-se as regiões Médio Paraíba e Noroeste Fluminense. De modo geral, a Floresta Ombrófila Densa apresentou maior estoque médio de biomassa em relação à Floresta Estacional Semidecidual (Tabela 2), resultando num estoque médio de biomassa de 62 Mg ha⁻¹ para o estado do Rio de Janeiro.

Esse resultado é compatível com o observado por Gaui *et al* (2024), que identificaram a Floresta Ombrófila como a formação florestal com maior estoque de biomassa acima do solo no estado do Rio de Janeiro, estimando uma média de 85,5 ± 10,0 Mg ha⁻¹. Segundo os autores, esse comportamento está associado ao predomínio dessa tipologia em ambientes mais úmidos, que favorecem o desenvolvimento de árvores de maior porte e, consequentemente, maior acúmulo de biomassa.

Os valores estimados para a FES são compatíveis com o comportamento descrito por Diniz *et al.* (2015), que verificaram aumento progressivo do estoque de biomassa em função do avanço da sucessão ecológica em florestas estacionais semidecíduais. No estudo realizado em Pinheiral (RJ), a menor biomassa aérea foi observada em áreas de Floresta Secundária em Estágio Médio (34,3 Mg ha⁻¹), valor atribuído principalmente ao menor tempo de sucessão ecológica e à estrutura da vegetação, caracterizada por árvores com altura média de aproximadamente 8 m e diâmetros concentrados entre 5 e 10 cm.

Nesse contexto, a biomassa média de 45,80 Mg ha⁻¹ obtida para a FES no presente estudo é superior ao valor registrado para essas formações secundárias, indicando a ocorrência de áreas com maior desenvolvimento estrutural e, conseqüentemente, maior acúmulo de biomassa.

Tabela 2. Estatística descritiva dos resultados de biomassa acima do solo das tipologias Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual

Floresta Ombrófila Densa				
Região Político-administrativa	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	Desvio Padrão (Mg ha ⁻¹)	Coefficiente de Variação (%)	Quantidade de UA
Baixadas Litorâneas	70,93	49,86	70,30	8
Costa Verde	106,38	49,81	46,83	5
Metropolitana	66,89	35,21	52,64	19
Médio Paraíba	97,43	18,91	19,41	4
Norte Fluminense	37,28	NA	NA	1
Serrana	66,09	39,06	59,10	8
Floresta Estacional Semidecidual				
Região Político-administrativa	Biomassa (Mg/ha)	Desvio Padrão (Mg ha ⁻¹)	Coefficiente de Variação (%)	Quantidade de UA
Baixadas Litorâneas	35,90	17,54	48,87	5
Centro Sul Fluminense	33,64	31,50	93,61	5
Médio Paraíba	66,73	25,79	38,64	12
Noroeste Fluminense	47,62	24,62	51,71	7
Norte Fluminense	45,54	16,45	36,12	6
Serrana	45,34	26,42	58,27	5

O coeficiente de variação (CV) expressa a dispersão relativa dos valores de biomassa em relação à média, permitindo avaliar o grau de heterogeneidade entre as unidades amostrais de cada região e tipologia florestal.

Os maiores coeficientes de variação foram observados na região das Baixadas Litorâneas para a Floresta Ombrófila Densa e na região Centro-Sul Fluminense para a Floresta Estacional Semidecidual, indicando maior variabilidade dos estoques de biomassa entre as unidades amostrais dessas regiões. Essa maior dispersão sugere que os remanescentes florestais apresentam diferentes condições estruturais, refletindo uma maior heterogeneidade da vegetação.

Dessa forma, os resultados obtidos indicam que a variação da biomassa florestal no estado está associada não somente à tipologia florestal e à estrutura da vegetação, como também ao histórico de intervenção e diversidade do terreno.

A maior biomassa observada na Floresta Ombrófila Densa da região Costa Verde pode estar associada aos maiores valores médios de DAP e área basal (Tabela 3), embora essa região não tenha apresentado a maior densidade de indivíduos por hectare.

Esse resultado evidencia que o acúmulo de biomassa está mais relacionado ao porte das árvores do que, necessariamente, ao número de indivíduos. De acordo com *Silveira et al.* (2008) o diâmetro à altura do peito (DAP) constitui a principal variável preditiva da biomassa florestal, sendo amplamente empregado em equações alométricas por representar o crescimento e o desenvolvimento estrutural das árvores.

Tabela 3: Média das variáveis de interesse de acordo com cada tipologia florestal e região político-administrativa

Floresta Ombrófila Densa				
Região Político-administrativa	DAP (cm)	HT (m)	Área Basal (m ² ha ⁻¹)	Indivíduos/ha
Baixadas Litorâneas	17,7	10,7	19,06	169
Costa Verde	21,1	11,6	29,59	177
Metropolitana	18,3	10,2	19,25	188
Médio Paraíba	18,0	11,6	26,27	267
Norte Fluminense	18,2	9,5	12,20	147
Serrana	16,7	10,6	18,61	214
Floresta Estacional Semidecidual				
Região Político-administrativa	DAP (cm)	HT (m)	Área Basal (m ² /ha)	Indivíduos/ha
Baixadas Litorâneas	14,9	7,4	9,79	200
Centro Sul Fluminense	17,6	10,1	9,22	98
Médio Paraíba	17,3	11,7	18,29	215
Noroeste Fluminense	17,7	12,3	13,05	154
Norte Fluminense	16,7	10,0	12,45	149
Serrana	16,6	10,4	12,45	123

Além das variáveis dendrométricas, o estoque de biomassa resulta da interação entre fatores bióticos e abióticos, incluindo condições climáticas, disponibilidade hídrica, características do solo, estágio sucessional, composição florística e histórico de perturbações da vegetação. Dessa forma, as diferenças observadas entre as regiões do estado do Rio de Janeiro refletem não apenas variações estruturais das florestas, mas também a influência das condições ambientais e ecológicas às quais esses remanescentes estão submetidos (Tiepolo, Calman e Feretti, 2002; Silveira *et al.*, 2008; Souza *et al.*, 2011).

4.2 Caracterização da cobertura florestal

Conforme a (Tabela 4) ao quantificar a área florestal por região entre os períodos de 2014 e 2024 foi observado incremento de aproximadamente 39 mil hectares de cobertura florestal no estado do Rio de Janeiro, indicando expansão da vegetação nativa em grande parte das regiões, com exceção da Costa Verde, que apresentou redução de 39,34 ha caracterizado pelo aumento da classe de uso e ocupação de área urbanizada.

A distribuição espacial desse incremento pode ser observada na Figura 4, que evidência maior expansão da cobertura florestal na porção central do estado, com destaque para as regiões Metropolitana, Médio Paraíba e Norte Fluminense (Tabela 4).

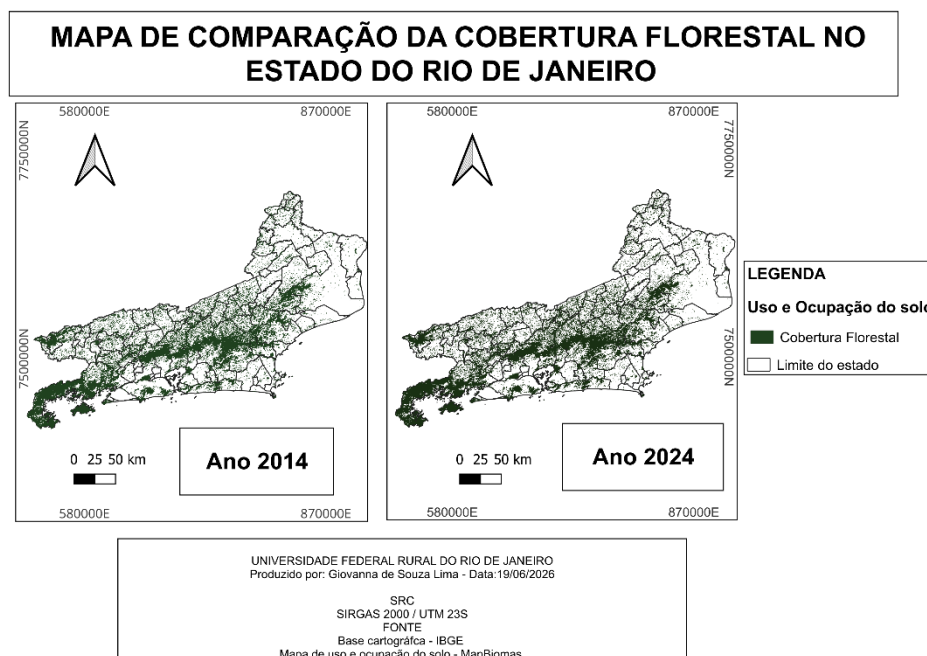
Entretanto, esse aumento da cobertura florestal deve ser interpretado com cautela. Conforme discutido por Rosa *et al.* (2021) a estabilidade ou mesmo o aumento da área florestal na Mata Atlântica pode mascarar um processo simultâneo de perda de florestas maduras e expansão de florestas jovens. Segundo os autores, esse processo promove o rejuvenescimento da paisagem florestal, no qual o ganho de área não representa, necessariamente, a manutenção da complexidade estrutural, da biodiversidade e dos estoques de carbono característicos de remanescentes mais antigos.

Assim como, o incremento da cobertura florestal observado no estado também pode ser analisado à luz das políticas públicas voltadas à conservação e à restauração da vegetação nativa. No âmbito estadual, destaca-se a Política Estadual de Restauração Ecológica, instituída pela Lei Estadual nº 8.538/2019, que estabelece diretrizes para a recuperação de ecossistemas degradados e para o fortalecimento da cadeia produtiva da restauração ecológica. Em âmbito nacional, o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG), instrumento da Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PROVEG), também busca ampliar a recuperação da vegetação nativa por meio da articulação de políticas públicas e incentivos voltados à restauração.

Tabela 4. Quantificação da área florestal pelo mapa de uso e ocupação do solo em hectare (ha) nos anos de 2014 e 2024 e a proporção relativa para cada região político-administrativa (%)

2014			
Região Político-administrativa	Área (ha)	Cobertura Florestal (ha)	Cobertura Florestal (%)
Baixadas Litorâneas	363911,92	90143,66	24,77
Centro Sul Fluminense	302704,91	88471,44	29,23
Costa Verde	210532,14	182249,82	86,57
Médio Paraíba	618879,14	198862,38	32,13
Metropolitana	753038,62	275680,9	36,61
Noroeste Fluminense	537153,24	62927,67	11,72
Norte Fluminense	974012,47	125930,73	12,93
Serrana	614809,98	252007,7	40,99
2024			
Região Político-administrativa	Área (ha)	Cobertura Florestal (ha)	Cobertura Florestal (%)
Baixadas Litorâneas	363911,92	93565,72	25,71
Centro Sul Fluminense	302704,91	93201,39	30,79
Costa Verde	210532,14	182210,48	86,55
Médio Paraíba	618879,14	205064,15	33,13
Metropolitana	753038,62	282590,37	37,53
Noroeste Fluminense	537153,24	68918,85	12,83
Norte Fluminense	974012,47	132261,39	13,58
Serrana	614809,98	257547,64	41,89

Figura 4: Mapa de comparação da cobertura florestal no estado do Rio de Janeiro nos anos de 2014 e 2024



Fonte: Autor (2026)

Nesse contexto, os incrementos de cobertura florestal observados no presente estudo podem estar associados a processos de regeneração natural ou restauração florestal. Contudo, áreas recentemente regeneradas tendem a apresentar árvores de menor porte e, consequentemente, menores estoques de biomassa quando comparadas a florestas maduras. Dessa forma, o aumento da cobertura florestal não implica, necessariamente, aumento proporcional do estoque de biomassa acima do solo.

4.3 Distribuição espacial da biomassa área no estado do Rio de Janeiro

De acordo com a Figura 6, a distribuição espacial da biomassa acima do solo apresenta um padrão heterogêneo entre as regiões do estado do Rio de Janeiro. As regiões Norte Fluminense e Centro-Sul Fluminense apresentaram as menores médias de biomassa, com valores aproximadamente 56% inferiores aos observados na Costa Verde, que apresentou o maior estoque médio de biomassa (Tabela 2).

Esse comportamento evidencia um gradiente espacial dos estoques de biomassa no estado. As diferenças observadas entre as regiões podem ser atribuídas à interação entre fatores ambientais, estruturais e ao histórico de uso e ocupação da terra. Segundo Silveira et al. (2008), o estoque de biomassa é influenciado por fatores como clima, disponibilidade hídrica, características do solo, tipo florestal, estágio sucessional e estrutura da vegetação.

Como apresentado da Tabela 5 de atividades predominantes nas regiões político-administrativas corroboram para o entendimento do histórico de uso da terra na região.

Tabela 5. Caracterização das regiões político-administrativa do estado do Rio de Janeiro

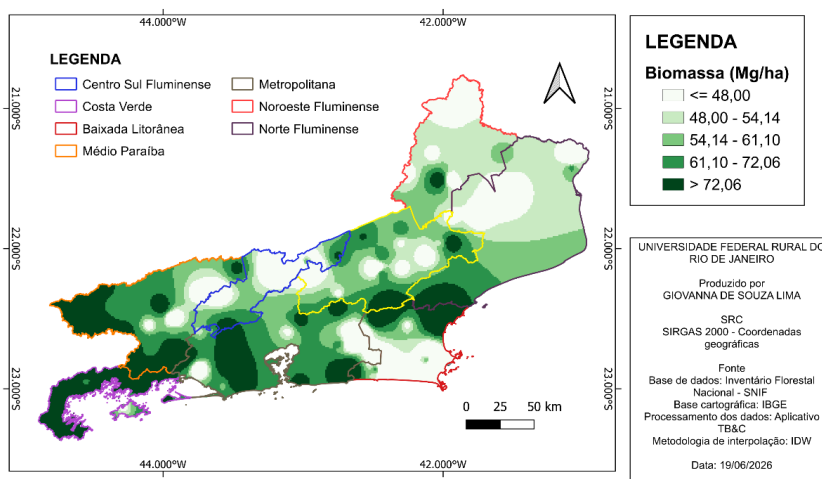
Região	Municípios	Atividade predominante
Metropolitana	21	Serviços e Indústria de Inovação
Costa Verde	3	Turismo
Médio Paraíba	12	Indústria e agropecuária
Centro-Sul Fluminense	11	Agricultura e Indústria
Serrana	13	Produção agrícola e turismo
Norte Fluminense	9	Petróleo, Gás e Mineração; agropecuária
Noroeste Fluminense	13	Petróleo, Gás e Mineração; agropecuária
Baixadas Litorâneas	10	Turismo

Fonte: Rio de Janeiro (2024).

Além disso, Rosa et al. (2021) destacam que a expansão das atividades agropecuárias na Mata Atlântica ocorreu preferencialmente em áreas planas, promovendo a substituição de remanescentes florestais e aumentando a fragmentação da paisagem. Esses processos podem contribuir para explicar os menores estoques de biomassa observados em regiões historicamente mais antropizadas.

Figura 6: Mapa da distribuição espacial da biomassa florestal acima do solo em Mg ha^{-1} no estado do Rio de Janeiro

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA BIOMASSA FLORESTAL ACIMA DO SOLO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO



Fonte: Autor (2026)

As regiões político-administrativas Costa Verde, Médio Paraíba e Metropolitana apresentaram as maiores médias de biomassa, resultado compatível com a maior concentração de cobertura florestal observada nessas regiões (Figura 4), evidenciando a relação entre a manutenção dos remanescentes florestais e o maior acúmulo de biomassa acima do solo.

A distribuição das tipologias também contribui para explicar esse padrão espacial. As regiões que concentram maior extensão de Floresta Ombrófila Densa (Tabela 6) apresentaram, de modo geral, os maiores estoques de biomassa, corroborando os resultados de Gaui *et al.* (2024), que identificaram essa formação como aquela com maior biomassa acima do solo no estado do Rio de Janeiro.

Tabela 6: Quantificação das tipologias FES e FOD pela regiões político-administrativas do estado do Rio de Janeiro

Floresta Estacional Semidecidual	
Região Político-administrativa	Área (ha)
Baixas Litorâneas	48610,78
Centro Sul Fluminense	152296,65
Médio Paraíba	487167,30
Noroeste Fluminense	529244,23
Norte Fluminense	484777,21
Serrana	136219,42
Floresta Ombrófila Densa	
Região Político-administrativa	Área (ha)
Baixas Litorâneas	208649,40
Centro Sul Fluminense	108426,92
Costa Verde	189043,82
Metropolitana	670297,43
Médio Paraíba	119576,69
Norte Fluminense	165207,77
Serrana	282414,89

Fonte: IBGE

Em contrapartida, os maiores estoques de biomassa observados na Costa Verde podem estar relacionados à presença de extensos remanescentes contínuos de Mata Atlântica, associados ao relevo montanhoso e à elevada concentração de Unidades de Conservação. Segundo Rosa *et al.* (2021), as áreas mais íngremes sofreram menor pressão da agricultura mecanizada ao longo do processo de ocupação, favorecendo a permanência de florestas mais conservadas.

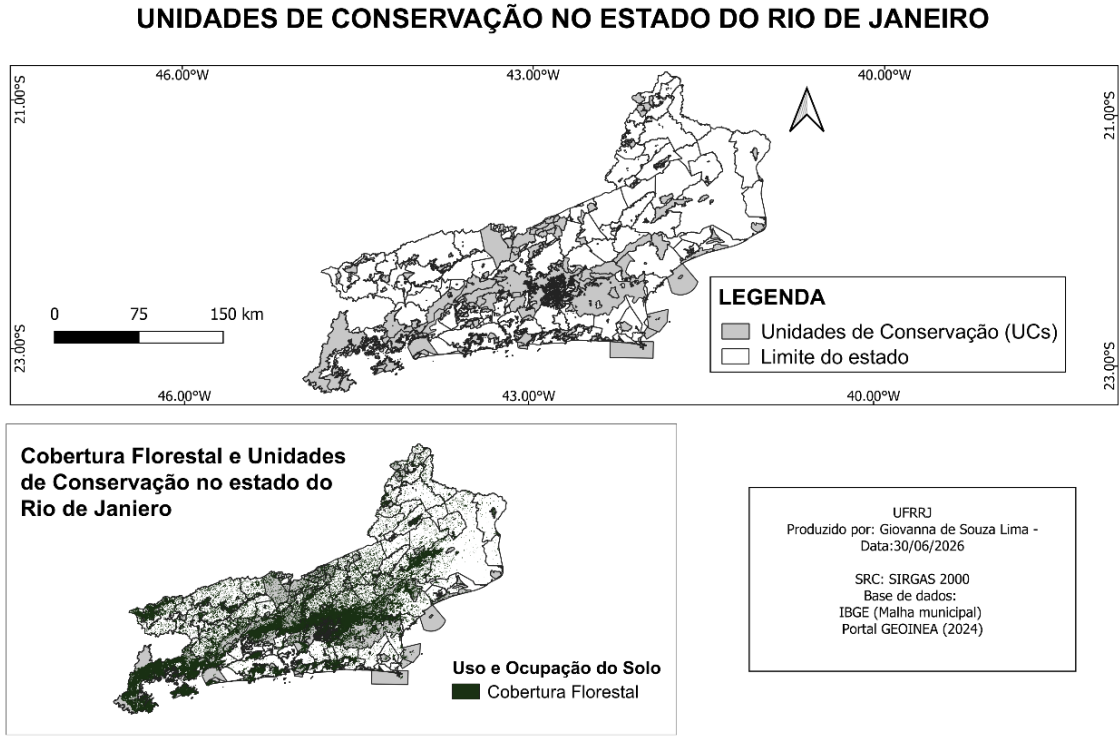
Estudos indicam que a Mata Atlântica remanescente se encontra, em grande parte, restrita a áreas protegidas localizadas ao longo das encostas da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira, onde a ocupação humana é mais limitada devido às condições de relevo (Bochorny *et al.*, 2025). Esse padrão é compatível com a distribuição observada neste estudo, na qual os maiores estoques de biomassa concentram-se justamente nas regiões associadas às encostas da Serra do Mar, especialmente na Costa Verde.

A Figura 7 evidencia a distribuição espacial das Unidades de Conservação no estado do Rio de Janeiro e sua sobreposição com os principais remanescentes florestais. Observa-se maior concentração dessas áreas protegidas nas regiões Costa Verde, Metropolitana e Serrana, coincidindo com as regiões que apresentaram maiores estoques de biomassa.

Embora a Costa Verde apresente menor número de Unidades de Conservação (Tabela 7), essas áreas possuem grande extensão territorial, contribuindo significativamente para a manutenção de extensos remanescentes de Mata Atlântica e, conseqüentemente, para os elevados estoques de biomassa observados.

Dessa forma, a distribuição espacial da biomassa acima do solo no estado do Rio de Janeiro resulta da interação entre fatores ambientais, da predominância das fitofisionomias florestais, do histórico de uso e ocupação da terra e da presença de áreas protegidas. Esses fatores contribuem para explicar a concentração dos maiores estoques de biomassa nas regiões que preservam extensos remanescentes de Mata Atlântica e os menores valores em regiões historicamente mais modificadas pela ação antrópica.

Figura 7: Mapa das Unidades de Conservação no estado do Rio de Janeiro



Fonte: Autor (2026)

Tabela 7: Quantificação de Unidades de Conservação (UC) no estado do Rio de Janeiro

Região Político-administrativa	Quantidade de UCs
Baixasdas Litorâneas	46
Centro Sul Fluminense	63
Costa Verde	25
Médio Paraíba	40

Metropolitana	190
Noroeste Fluminense	42
Norte Fluminense	34
Serrana	43

Fonte: INEA (2024)

Ainda que as unidades de conservação desempenhem papel relevante na proteção dos remanescentes florestais, sua efetividade pode variar em função de fatores como pressão antrópica, categorias de manejo e limitações de gestão, especialmente em áreas urbanas e periurbanas (Bezerra e Lira, 2020). Dessa forma, mesmo com as restrições citadas anteriormente, essas áreas continuam exercendo influência significativa na conservação da vegetação nativa e, consequentemente, nos estoques de biomassa.

Além disso, a elevada variabilidade observada em algumas regiões evidencia a complexidade da distribuição espacial da biomassa em escala estadual, indicando que áreas pertencentes à mesma tipologia florestal podem apresentar estoques bastante distintos em função das características locais dos remanescentes.

Dessa forma, a distribuição espacial da biomassa acima do solo no estado do Rio de Janeiro resulta da interação entre fatores ambientais, da predominância das fitofisionomias florestais, do histórico de uso e ocupação da terra e da presença de áreas protegidas. Esses fatores contribuem para explicar a concentração dos maiores estoques de biomassa nas regiões que preservam extensos remanescentes de Mata Atlântica e os menores valores em regiões historicamente mais modificadas pela ação antrópica.

4.4 Validação da interpolação IDW

A qualidade das estimativas foi avaliada por meio do erro médio absoluto (MAE) e da raiz do erro quadrático médio (RMSE), indicadores amplamente utilizados para quantificar a precisão de estimativas espaciais. Enquanto o MAE representa a magnitude média dos desvios entre os valores estimados e observados, o RMSE atribui maior peso aos erros de maior magnitude, permitindo identificar a influência de discrepâncias mais elevadas nas estimativas (Costa e Quintanilha, 2024; Oliveira *et al.*, 2024).

Tabela 8: Resultado da validação da interpolação IDW

Região político-administrativa	MAE	RMSE
Noroeste Fluminense	25,48	31,32
Norte Fluminense	13,63	16,61
Baixadas Litorâneas	31,72	37,21
Serrana	32,58	39,43
Centro Sul Fluminense	32,20	34,50
Médio Paraíba	24,41	27,89
Metropolitana	31,27	37,26
Costa Verde	51,62	55,17

A região Norte Fluminense apresentou os menores valores de MAE e RMSE, indicando maior proximidade entre os valores estimados e observados. A região Costa Verde apresentou os maiores valores de MAE e RMSE.

Esse comportamento pode estar relacionado à elevada variabilidade espacial da biomassa nessa região, caracterizada pela presença de extensos remanescentes de Floresta Ombrófila Densa, relevo acidentado e diferentes estágios estruturais da vegetação.

Nessas condições, pequenas variações espaciais podem resultar em diferenças expressivas nos estoques de biomassa, aumentando os erros de interpolação. Em todas as regiões, os valores de RMSE foram superiores aos de MAE, indicando a ocorrência de erros pontuais de maior magnitude, característica esperada em estudos envolvendo variáveis com elevada variabilidade espacial, como a biomassa florestal (Costa e Quintanilha, 2024; Oliveira *et al.*, 2024; Veronesi e Schillaci, 2019).

A distribuição das unidades amostrais do Inventário Florestal Nacional foi planejada para representar o território em escala nacional e estadual, não necessariamente para otimizar a interpolação espacial em nível regional. Dessa forma, o aumento da densidade amostral em estudos futuros poderá contribuir para reduzir as incertezas associadas às estimativas espaciais de biomassa.

5. CONCLUSÃO

A estimativa da biomassa acima do solo permitiu caracterizar a distribuição espacial desse componente florestal no estado do Rio de Janeiro, atendendo ao objetivo proposto de quantificar os estoques de biomassa, espacializar sua distribuição e analisar sua relação com a cobertura florestal e as diferentes regiões político-administrativas. A utilização de equações alométricas específicas para as tipologias Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual, associada às ferramentas de geoprocessamento e aos dados do Inventário Florestal Nacional, possibilitou a geração de informações em escala estadual, contribuindo para o conhecimento da distribuição da biomassa na Mata Atlântica fluminense.

Os resultados evidenciaram que a Floresta Ombrófila Densa apresentou os maiores estoques médios de biomassa quando comparada à Floresta Estacional Semidecidual, refletindo suas características estruturais e ambientais. Em escala regional, as maiores médias foram observadas nas regiões Costa Verde, Médio Paraíba e Metropolitana, enquanto as menores ocorreram nas regiões Norte Fluminense e Centro-Sul Fluminense, demonstrando um padrão heterogêneo de distribuição da biomassa no estado. Essa variabilidade espacial mostrou-se relacionada à interação entre fatores ambientais, à distribuição das tipologias florestais e à presença de remanescentes florestais protegidos, especialmente em áreas de maior extensão de Floresta Ombrófila Densa e de Unidades de Conservação.

A análise temporal da cobertura florestal indicou incremento da vegetação nativa no período avaliado, evidenciando mudanças na dinâmica da paisagem fluminense. Entretanto, o aumento da cobertura florestal deve ser interpretado de forma criteriosa, uma vez que sua expansão não implica, necessariamente, aumento proporcional dos estoques de biomassa, considerando que áreas em regeneração apresentam estrutura distinta de remanescentes florestais mais maduros.

A validação das estimativas evidenciou diferenças entre as regiões político-administrativas, refletindo a elevada heterogeneidade espacial da biomassa acima do solo. Embora as estimativas tenham representado adequadamente os padrões regionais observados, os maiores erros registrados em algumas regiões indicam que a complexidade estrutural da vegetação influencia diretamente a precisão da interpolação espacial.

Os resultados obtidos reforçam a importância da biomassa acima do solo como indicador para subsidiar ações de conservação, restauração ecológica e planejamento territorial, além de fornecer informações relevantes para iniciativas relacionadas à mitigação das mudanças climáticas e à gestão dos estoques de carbono. Nesse contexto, recomenda-se que

estudos futuros ampliem a densidade amostral, avaliem diferentes métodos de interpolação espacial e incorporem novas campanhas do Inventário Florestal Nacional, visando aprimorar a representação espacial da biomassa e reduzir as incertezas das estimativas em escala estadual.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKKALA, Arjun; DEVABHAKTUNI, Vijay; KUMAR, Ashok. Interpolation techniques and associated software for environmental data. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 29, n. 2, p. 143-155, jul. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1002/ep.10455>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ep.10455>. Acesso em: 20 jun. 2026.

BARATTO, Pablo Francisco Benitez *et al.* Espacialização da Precipitação Diária em Bacias Hidrográficas do Sul do Espírito Santo. São Paulo, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 3, p. 385-404, set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863730034>. Acesso em: 1 jul. 2026.

BERENGUER, Erika *et al.* A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Global Change Biology**, v. 20, p. 3713-3726, 2014. DOI: 10.1111/gcb.12627. Acesso em: 20 jun. 2026.

BEZERRA, Bruna Lobo de Mattos; LIRA, Paula Koeler. Unidades de Conservação cariocas: histórico e cenário atual. Rio de Janeiro, **Oecologia Australis**, v. 24, n. 4, p. 890-902, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2404.13>. Acesso em: 20 jun. 2026.

BFG - THE BRAZIL FLORA GROUP. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 4, p. 1085-1113, 2015. DOI: 10.1590/2175-786020156641. Acesso em: 20 jun. 2026.

BOCHORNY, Thuane *et al.* Vascular plants of Reserva Biológica do Tinguá, Rio de Janeiro, Brazil: leveraging herbarium databases to address knowledge gaps in the Atlantic Forest. **Biodiversity Data Journal**, v. 13, e157961, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3897/BDJ.13.e157961>. Acesso em: 20 jun. 2026.

BOLFE, Édson Luis; PEREIRA, Rudiney Soares; MADRUGA, Pedro Roberto de Azambuja. Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados à análise de recursos florestais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 105-111, jan./fev. 2004. Acesso em: 20 jun. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa**: Planaveg. Brasília, DF: MMA, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/>. Acesso em: 2 jul. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **A NDC do Brasil**: 2024. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/NDC/a-ndc-do-brasil-2024-2013-2024.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2026.

CHAVE, J. *et al.* Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 20, n. 10, p. 3177-3190, 2014. DOI: 10.1111/gcb.12629. Acesso em: 20 maio 2026.

COSTA, José Douglas Monteiro da; QUINTANILHA, José Alberto. Uso das geotecnologias na estimativa de biomassa e carbono florestal: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 2, p. 1127-1146, 2024. Acesso em: 20 maio 2026

DAVID, Hassan Camil. Projeto ‘Tropical Biomass & Carbon’ – um aplicativo para estimativas de biomassa e carbono florestal. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MENSURAÇÃO FLORESTAL, 6., 2023, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2023. Acesso em: 20 maio 2026

DIAS, Sarah Magalhães; BARREIRA, Sybelle. Floresta Estacional Semidecidual: uma revisão sistemática da literatura. **Geoambiente On-line**, Jataí-GO, n. 49, p. 1-22, maio/ago. 2024. Acesso em: 20 maio 2026

DINIZ, Anderson Ribeiro; MACHADO, Deivid Lopes; PEREIRA, Marcos Gervasio; BALIEIRO, Fabiano de Carvalho; MENEZES, Carlos Eduardo Gabriel. Biomassa, estoques de carbono e de nutrientes em estádios sucessionais da Floresta Atlântica, RJ. Recife, **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 443-451, jul./set. 2015. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i3a4264>. Acesso em: 1 jul. 2026.

FARACO, Mário Antonio *et al.* Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. Viçosa, MG, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 463-476, mar./abr. 2008. Acesso em: 1 jul. 2026.

FARIAS, Pétala Souza; BESSA, Livia Suenne Valente. Biomassa florestal e mudanças climáticas. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC, 2025, [S. l.]. **Anais...** [S. l.]: CONFEA/CREA-ES/MUTUA, 2025. Acesso em: 22 jun. 2026.

GAUI, T. D.; CYSNEIROS, V. C.; SOUZA, F. C. de; SOUZA, H. J. de; SILVEIRA FILHO, T. B.; CARVALHO, D. C. de; PACE, J. H. C.; VIDAURRE, G. B.; MIGUEL, E. P. Biomass Equations and Carbon Stock Estimates for the Southeastern Brazilian Atlantic Forest. **Forests**, v. 15, n. 9, p. 1568, set. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15091568>. Acesso em: 1 jul. 2026.

HARRIS, Nancy L.; GIBBS, David A.; BACCINI, Alessandro; BIRDSEY, Richard A.; DE BRUIN, Sytze; FARINA, Mary; FATOYINBO, Lola; HANSEN, Matthew C.; HEROLD, Martin; HOUGHTON, Richard A.; POTAPOV, Peter V.; SUAREZ, Daniela R.; ROMAN-CUESTA, Rosa M.; SAATCHI, Sassan S.; SLAY, Craig M.; TURUBANOVA, Svetlana A.; TYUKAVINA, Alexandra. Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. **Nature Climate Change**, v. 11, p. 234-240, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00976-6>. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00976-6>. Acesso em: 15 jun. 2026.

HENUD, Igor Rodrigues *et al.* Biomass and carbon stock estimation of an Atlantic Forest fragment. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 13, n. 2, p. 272-281, jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v13n220211577>. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1577>. Acesso em: 15 jun. 2026.

HOUGHTON, R. A.; HALL, Forrest; GOETZ, Scott J. Importance of biomass in the global carbon cycle. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 114, n. G00E03, 2009. DOI: 10.1029/2009JG000935.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Portal GeoINEA**: Unidades de Conservação. Rio de Janeiro: INEA, 2026. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/geoinea>. Acesso em: 29 jun. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Geociências**: Informações Ambientais: Vegetação. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao.html>. Acesso em: 25 de abril de 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malhas territoriais**: Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: IBGE, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em: 30 maio 2026.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2023**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 23 maio 2026.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Summary for Policymakers. In: SHUKLA, P. R. *et al.* (ed.). **Climate Change and Land**: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Geneva: IPCC, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157988.001>. Acesso em: 4 jun. 2026.

KODONG, Frans Richard; ABDOLLAH, Mohd. Faizal Bin; OTHMAN, Mohd. Fairuz Iskandar Bin. Geostatistics and digital image analysis for optimizing rice production. **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**, v. 101, n. 14, p. 5745-5758, 31 jul. 2023. Acesso em: 30 jun. 2026.

MAPBIOMAS. **Coleção da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. Projeto MapBiomas, [s.d.]. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 30 maio 2026.

MEDEIROS, M. C. M. P.; MATTOS, I. F. A.; KANASHIRO, M. M.; TAMASHIRO, J. Y.; AIDAR, M. P. M. Vegetation mapping in an area of Ombrophilous Dense Forest at Parque Estadual da Serra do Mar, São Paulo State, Brazil, and floristic composition of the tree component of some physiognomies. São Paulo, **Hoehnea**, v. 39, n. 2, p. 219-233, jun. 2012. Acesso em: 1 de jul de 2026.

MOREIRA-BURGER, Déborah; DELITTI, Welington Braz Carvalho. Modelos preditores da fitomassa aérea da Floresta Baixa de Restinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 1, p. 143-153, mar. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042010000100013>. Acesso em: 22 jun. 2026.

MUNYATI, C.; SINTHUMULE, N. I. Comparative suitability of ordinary kriging and Inverse Distance Weighted interpolation for indicating intactness gradients on threatened savannah

woodland and forest stands. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 12, 100151, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100151>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665972721000520>. Acesso em: 20 jun. 2026.

NEHREN, Udo *et al.* Impact of natural climate change and historical land use on landscape development in the Atlantic Forest of Rio de Janeiro, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 85, n. 2, p. 497-518, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/>. Acesso em: 30 maio 2026.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil: 1970-2024**. São Paulo: Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), 2025. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2026/03/SEEG13-relatorio-analitico-BR.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2026.

OLIVEIRA, Paulo Victor Alves de *et al.* Estudo comparativo dos interpoladores espaciais IDW e SPLINE para dados pluviométricos no Norte de Minas Gerais. Belo Horizonte, **Cadernos do Leste**, v. 24, n. 24, p. 147-167, 2024. Acesso em: 1 jun. 2026.

RAMOS, Y. A.; AGUIAR, B. A. C.; SILVA, M. V. C.; MATOS, R. E. S.; COELHO, M. C. B.; GIONGO, M. Structure and floristic composition in a dense ombrophilous forest area under forest management. Curitiba, **Floresta**, v. 49, n. 4, p. 793-802, out./dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5380/ufv49i4.59264>. Acesso em 1 de jul de 2026.

RASERA, Susane. **Biomassa e carbono no estrato arbóreo em área restaurada de Mata Atlântica**. 2018. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-27032019-163129/>. Acesso em: 22 jun. 2026.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado de Trabalho e Renda (SETRAB). **Mapa - Regiões e População 2024**: com dados do IBGE. Rio de Janeiro: SETRAB, 2024. Disponível em: https://www.rj.gov.br/trabalho/sites/default/files/arquivos_paginas/Mapa%20-%20Regi%C3%B5es%20e%20Popula%C3%A7%C3%A3o%202024.pdf. Acesso em: 22 jun. 2026.

RIO DE JANEIRO (Estado). [Lei nº 10.276, de 09 de janeiro de 2024]. **Plano Plurianual – PPA 2024-2027**. Rio de Janeiro: SEPLAG/SUBPLO, fev. 2024. 945 p. Disponível: https://www.rj.gov.br/cehab/sites/default/files/arquivos_paginas/Livro%20PPA_2024-2027_04_abril_1.pdf. Acesso em: 1 jul. 2026

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 16, p. 81-90, 2005. Acesso em: 22 jun. 2026.

ROSA, M. R.; BRANCALION, P. H. S.; CROUZEILLES, R.; TAMBOSI, L. R.; PIFFER, P. R.; LENTI, F. E. B.; HIROTA, M.; SANTIAMI, E.; METZGER, J. P. Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs. **Science Advances**, v. 7, n. 4, eabc4547, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abc4547>. Acesso em: 1 jul. 2026.

RIO DE JANEIRO (Estado). [Lei nº 8.538, de 27 de setembro de 2019]. **Institui a Política Estadual de Restauração Ecológica, o Plano Estadual de Restauração Ecológica e estabelece seus mecanismos e altera as leis estaduais n.º 3.239/1999 e 6.572/2013**. Rio de Janeiro: Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.alerj.rj.gov.br>. Acesso em: 2 jul. 2026.

SANTORO, Maurizio; CARTUS, Oliver; CARVALHAIS, Nuno; ROZENDAAL, Danaë M. A.; AVITABILE, Valerio; ARAZA, Arnan; DE BRUIN, Sytze; HEROLD, Martin; QUEGAN, Shaun; RODRÍGUEZ-VEIGA, Pedro *et al.* The global forest above-ground biomass pool for 2010 estimated from high-resolution satellite observations. **Earth System Science Data**, v. 13, n. 8, p. 3927-3950, 11 ago. 2021. Disponível em: <https://essd.copernicus.org/articles/13/3927/2021/essd-13-3927-2021.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2026.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Inventário Florestal Nacional**: principais resultados – Rio de Janeiro. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2018. 92 p. Acesso em: 20 maio 2026.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Manual de campo**: procedimentos para coleta de dados biofísicos e socioambientais. Versão oficial 7.4. Brasília, DF: SFB, 2021. 94 p. Disponível em: https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/publicacoes_ifn/manual_de_campo/Manual_de_Campo_IFN_Versao_7_4_1.pdf. Acesso em: 26 maio 2026.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF)**: dados do Inventário Florestal Nacional (IFN). Brasília, DF: SFB, [s.d.]. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/>. Acesso em: 25 abril 2026.

SILVEIRA, Péricles; KOEHLER, Henrique Soares; SANQUETTA, Carlos Roberto; ARCE, Julio Eduardo. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008. DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v38i1.11038>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/11038>. Acesso em: 27 maio 2026.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Plataforma SEEG**: Emissões de GEE. [S. l.]: SEEG, [2026]. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em: 1 jul. 2026.

SOFFIATTI, Arthur. Destruição e proteção da Mata Atlântica no Rio de Janeiro: ensaio bibliográfico acerca da eco-história. **História, Ciências, Saúde — Manguinhos**, Rio de Janeiro, vol. IV, n. 2, p. 309-327, jul.-out. 1997. Acesso em: 30 maio 2026.

SOUZA, Agostinho Lopes de *et al.* Estoque e crescimento em volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 6, p. 1277-1285, 2011. Acesso em: 20 junho 2026.

TIEPOLO, G.; CALMON, M.; FERRETTI, A. R. Measuring and Monitoring Carbon Stocks at the Guaraqueçaba Climate Action Project, Paraná, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST CARBON SEQUESTRATION AND MONITORING, 2002,

Taiwan. **Proceedings...** Taiwan: Taiwan Forestry Research Institute, 2002. p. 98-115. (Extension Serie, 153). Acesso em: 30 maio 2026.

TILIO NETO, Petrônio de. As mudanças climáticas na ordem ambiental internacional. In: TILIO NETO, Petrônio de. **Ecopolítica das mudanças climáticas: o IPCC e o ecologismo dos pobres**. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010. p. 37-81. ISBN 978-85-7982-049-6. Disponível em: <http://books.scielo.org>. Acesso em: 30 maio 2026.

VERONESI, Fabio; SCHILLACI, Calogero. Comparison between geostatistical and machine learning models as predictors of topsoil organic carbon with a focus on local uncertainty estimation. **Ecological Indicators**, v. 101, p. 1032-1044, jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.068>. Acesso em: 2 jul 2026.

WANG, Ning; SUN, Meng; YE, Jiang; WANG, Jun; LIU, Qi; LI, Ming. Spatial Downscaling of Forest Above-Ground Biomass Distribution Patterns Based on Landsat 8 OLI Images and a Multiscale Geographically Weighted Regression Algorithm. **Forests**, v. 14, n. 3, p. 526, mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14030526>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/14/3/526>. Acesso em: 30 jun. 2026.

ANEXO A – APRESENTAÇÃO DAS EQUAÇÕES ALÓMETRICAS CONSIDERADAS NO APLICATIVO TROPICAL B&C

Tipologia	R ²	Syx	Equação	Fonte
FES	0.75	56,3(%)	$\exp(-1.4309+2.0158*\log(d))$	https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-27032019-163129/pt-br.php
FES	0.78	51,1(%)	$\exp(-2.6925+0.8610*\log((d^2)*ht))$	https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-27032019-163129/pt-br.php
FES	0.78	49,7(%)	$\exp(-3.2369+1.5467*\log(d)+1.2860*\log(ht))$	https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-27032019-163129/pt-br.php
FOD	97.34	30,8(%)	$\exp(-10.9240874854+2.1188422024*\log(d)+0.9848179885*\log(ht))*1000$	https://www.editora.ufla.br/produto/187/inventario-florestal-de-minas-gerais--cerrado-floristica,-estrutura,-diversidade,-similaridade,-di

FOD	97.81	32,0(%)	$\exp(-10.5678122652+2.0679586507*\log(d)+0.8722223725*\log(ht))*1000$	https://www.editora.ufla.br/produto/187/inventario-florestal-de-minas-gerais--cerrado-floristica,-estrutura,-diversidade,-similaridade,-di
FOD	97.66	35,0(%)	$\exp(-10.6409194002+2.1533324963*\log(d)+0.8248143766*\log(ht))*1000$	https://www.editora.ufla.br/produto/187/inventario-florestal-de-minas-gerais--cerrado-floristica,-estrutura,-diversidade,-similaridade,-di
FOD	0.86	33,9 kg	$25.9310+0.0258*(d^2)*ht$	https://doi.org/10.2989/00306525.2019.1581498
FOD	0.88	22,3 kg	$-48.4365+0.6467*(d^2)$	https://doi.org/10.2989/00306525.2019.1581498
FOD	0.87	27,3 kg	$\exp(-2.3702+2.5179*\log(d))$	https://doi.org/10.2989/00306525.2019.1581498
FOD	0.86	30,6 kg	$\exp(-3.078059+1.068174*\log(d^2)+0.6616*10*\log(ht))$	https://doi.org/10.2989/00306525.2019.1581498
FOD	0.86	33,6 kg	$\exp(-3.4062+0.9774*\log((d^2)*ht))$	https://doi.org/10.2989/00306525.2019.1581498
FOD	0.94	-	$\exp(-2.245+2.388*\log(d))$	https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1503040
FOD	-	-	$-13.127+0.428*(d^2)$	https://doi.org/10.1590/1676-06032013008413
FOD	-	-	$\exp(-1.890+1.127*\log(d^2))$	https://doi.org/10.1590/1676-06032013008413