APTIDÃO AGRÍCOLA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: CORRELAÇÃO AMBIENTAL ENTRE VARIÁVEIS EDÁFICAS E CLIMÁTICAS

AGRICULTURAL SUITABILITY FOR FAMILY FARMING IN THE STATE OF RIO DE JANEIRO: ENVIRONMENTAL CORRELATION BETWEEN SOIL AND CLIMATE VARIABLES

Erika Elissandra Cassimiro Ramos[1]
Fagner Silva Ribeiro[2]

Resumo: A agricultura familiar desempenha papel importante na dinâmica socioeconômica do estado do Rio de Janeiro, porém o território fluminense apresenta condições ambientais bastante heterogêneas, marcadas por contrastes de relevo, solos, clima e uso da terra. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a aptidão agrícola das terras associada à agricultura familiar no estado do Rio de Janeiro, utilizando integração de variáveis ambientais em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para isso, foram utilizados dados secundários de solos, relevo, declividade, uso e cobertura da terra e aptidão agrícola, organizados por meio de análise multicritério e álgebra de mapas. Os resultados demonstraram predominância de áreas classificadas como de aptidão regular e restrita para lavouras, principalmente em regiões serranas e áreas de relevo fortemente ondulado, onde as limitações topográficas e a suscetibilidade à erosão são mais expressivas. As áreas mais favoráveis ao uso agrícola concentraram-se em setores de relevo mais suave e melhores condições pedológicas. A análise também evidenciou a influência da compartimentação geomorfológica na distribuição espacial da aptidão agrícola no estado. Apesar das limitações relacionadas à ausência de validação de campo, o estudo demonstrou que a utilização integrada de dados geoespaciais pode contribuir para o planejamento territorial e para o desenvolvimento de estratégias voltadas ao uso sustentável das terras pela agricultura familiar.

Palavras-chave: Aptidão agrícola; Agricultura familiar; SIG; Análise multicritério.

Abstract: Family farming plays an important role in the socioeconomic dynamics of the state of Rio de Janeiro; however, the territory of Rio de Janeiro presents highly heterogeneous environmental conditions, marked by contrasts in relief, soils, climate, and land use. In this context, the present study aimed to analyze the agricultural

[1] Mestranda em Ciência do Solo (Agronomia) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Engenheira Florestal pela UFRRJ e Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Pós-graduanda em ESG no Agronegócio pela Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera. Pesquisadora nas áreas de geotecnologias, mapeamento digital de solos e análise ambiental, com ênfase no uso de linguagem R e aprendizado de máquina aplicados às ciências ambientais. https://orcid.org/0009-0001-8774-3215. E-mail: e.erikacassimiro@gmail.com

[2] Biólogo, Especialista em Gestão Ambiental, Pós-Graduado em Ecologia e Biodiversidade, Pós-Graduado em Administração Pública, MBA Executivo em Gestão Ambiental e Manejo Florestal e MBA Executivo em Gestão de Projetos Multidisciplinares. Consultor ambiental, perito judicial ambiental, professor e pesquisador, com atuação em licenciamento ambiental, gestão de riscos, monitoramento ambiental, resíduos sólidos, fauna e flora, recuperação de áreas degradadas e sustentabilidade. Desenvolve trabalhos técnicos nas áreas de Ciências Biológicas, Ecologia, Ciências Ambientais e Engenharia Sanitária, com foco em gestão territorial e desenvolvimento socioambiental. Lattes: http://lattes.cnpq.br/0201967534904679. E-mail: fagnersilvaribeiro55@gmail.com

Suitability of land associated with family farming in the state of Rio de Janeiro, using the integration of environmental variables within a Geographic Information System (GIS) environment. For this purpose, secondary data on soils, relief, slope, land use and land cover, and agricultural suitability were used, organized through multicriteria analysis and map algebra. The results showed a predominance of areas classified as having regular and restricted suitability for crops, especially in mountainous regions and areas with strongly undulating relief, where topographic limitations and susceptibility to erosion are more pronounced. The areas most favorable for agricultural use were concentrated in sectors with gentler relief and better pedological conditions. The analysis also highlighted the influence of geomorphological compartmentalization on the spatial distribution of agricultural suitability in the state. Despite limitations related to the lack of field validation, the study demonstrated that the integrated use of geospatial data can contribute to territorial planning and to the development of strategies aimed at the sustainable use of land by family farming.

Keywords: Agricultural suitability; Family farming; GIS; Multicriteria analysis.

Introdução

A agricultura familiar possui papel estratégico na produção de alimentos, geração de renda e manutenção socioeconômica de diferentes regiões do estado do Rio de Janeiro. Entretanto, o território fluminense apresenta elevada variabilidade ambiental, marcada por fortes contrastes geomorfológicos, climáticos e pedológicos, o que influencia diretamente o potencial produtivo das terras e os riscos associados ao uso agrícola.

Os solos predominantes no estado incluem Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Neossolos, cujas características físicas e químicas variam em função do relevo, material de origem e processos pedogenéticos. Além disso, a presença de áreas serranas, planícies costeiras e maciços cristalinos contribui para a formação de mosaico ambiental complexo, caracterizado por elevada variabilidade espacial em curtas distâncias geográficas.

Historicamente, a avaliação da aptidão agrícola das terras fundamenta-se em metodologias determinísticas baseadas na identificação de fatores limitantes do meio físico. Entre essas abordagens, destacam-se os sistemas propostos pela FAO e por Ramalho Filho e Beek, amplamente utilizados em estudos de zoneamento agrícola e planejamento territorial.
No entanto, a complexidade ambiental do estado do Rio de Janeiro exige abordagens integradas capazes de correlacionar simultaneamente múltiplas variáveis ambientais. Nesse contexto, a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e técnicas de análise multicritério apresenta-se como alternativa metodológica consistente para representação espacial da aptidão agrícola.

Embora técnicas de machine learning apresentem potencial para estudos futuros de modelagem preditiva, sua aplicação depende da existência de bases validadas para treinamento supervisionado e validação estatística, o que não se encontra disponível neste estudo. Dessa forma, optou-se pela adoção de análise multicritério ambiental integrada em ambiente SIG,

priorizando coerência metodológica e aplicabilidade territorial.

Apesar do avanço dessas abordagens, análises baseadas em variáveis morfométricas derivadas de Modelos Digitais de Elevação permanecem fundamentais para a caracterização preliminar das limitações físicas do território.

Diante desse contexto, o presente estudo realizou uma análise espacial das condições ambientais associadas à aptidão agrícola no estado do Rio de Janeiro, integrando informações de relevo, solos, uso e cobertura da terra e aptidão agrícola, com o objetivo de subsidiar o planejamento territorial e a discussão sobre o uso sustentável das áreas rurais

1 Justificativa

A avaliação da aptidão agrícola constitui importante instrumento técnico para o planejamento territorial e definição de estratégias sustentáveis de uso do solo. No estado do Rio de Janeiro, a diversidade ambiental associada à presença de relevos acidentados, elevada fragmentação territorial e contrastes climáticos torna necessária a utilização de metodologias integradas capazes de representar adequadamente a diversidade espacial.

Além disso, observa-se que parte significativa da agricultura familiar fluminense desenvolve-se em áreas ambientalmente frágeis, frequentemente associadas a encostas, solos rasos e limitações hídricas sazonais. Essa condição reforça a necessidade de estudos que permitam identificar áreas mais favoráveis à produção agrícola e regiões que demandem práticas conservacionistas específicas.

A utilização de geotecnologias e análises multicritério em ambiente SIG possibilita integrar diferentes variáveis ambientais em escala regional, contribuindo para análises mais consistentes do potencial agrícola das terras. Assim, o presente estudo busca fornecer subsídios técnicos para o planejamento agrícola sustentável e apoio à formulação de políticas públicas voltadas à agricultura familiar.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a aptidão agrícola associada à agricultura familiar no estado do Rio de Janeiro por meio da integração de variáveis edáficas, climáticas, geomorfológicas e ambientais georreferenciadas em ambiente SIG, utilizando metodologia de análise multicritério e correlação ambiental espacial.

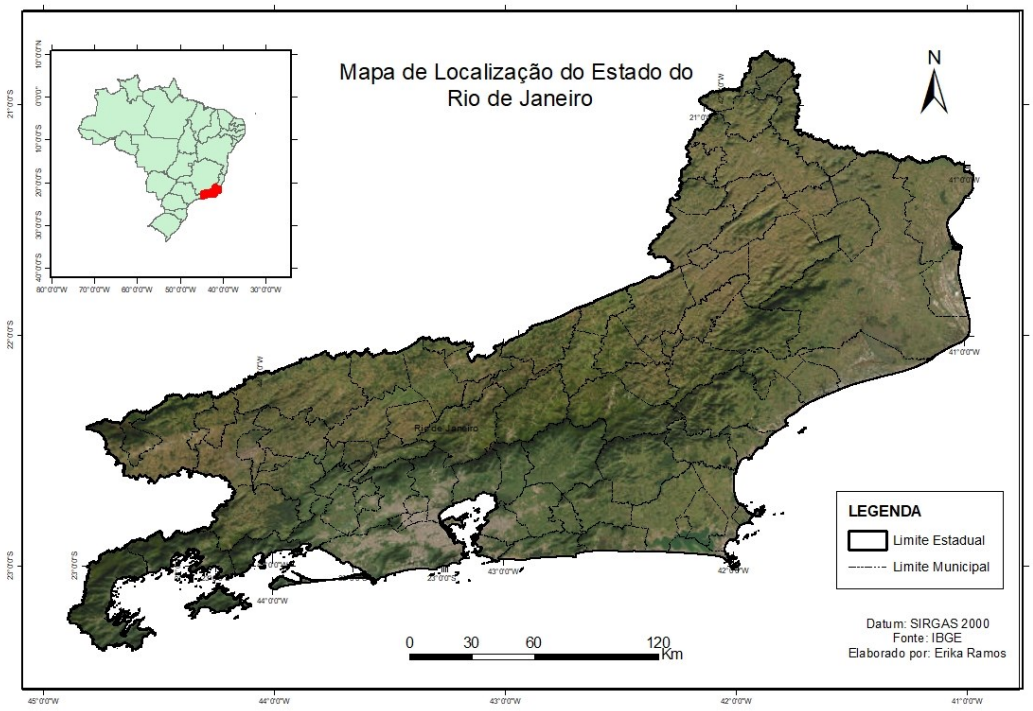
2.2 Objetivos Específicos

• Estruturar banco de dados georreferenciado integrado contendo informações edáficas, climáticas e ambientais;
• Padronizar e harmonizar variáveis ambientais em ambiente SIG;
• Gerar mapas temáticos e indicadores territoriais;
• Subsidiar análises voltadas ao planejamento territorial sustentável da agricultura familiar.

3 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no estado do Rio de Janeiro, localizado na região Sudeste do Brasil e composto por 92 municípios (IBGE,2022). O território apresenta área aproximada de 43.750 km² e elevada diversidade ambiental, associada à presença de serras, planícies costeiras, baixadas e vales intermontanos. O estado localiza-se aproximadamente entre as coordenadas geográficas 20°45' e 23°30' de latitude Sul e 40°57' e 44°53' de longitude Oeste, sendo limitado pelos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo, além do Oceano Atlântico. A compartimentação geomorfológica do território fluminense contribui para forte variabilidade altimétrica e climática, influenciando diretamente os padrões de uso da terra, disponibilidade hídrica e potencial agrícola regional (ROSS, 1994; ALVARES et al., 2013). Predominam no estado os climas Tropical Atlântico e Tropical de Altitude, segundo a classificação de Köppen-Geiger, com distribuição pluviométrica influenciada pela proximidade oceânica e pelos gradientes de relevo.

Figura 1: Mapa de localização do estado do Rio de Janeiro.



Fonte: IBGE, 2013

A posição geográfica do estado, associada à influência oceânica e aos gradientes altitudinais, contribui para formação de padrões climáticos heterogêneos. Regiões serranas apresentam maiores índices pluviométricos e temperaturas mais amenas, enquanto áreas interiores podem registrar maior sazonalidade hídrica.

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o estado do Rio de Janeiro apresenta predominância de climas tropicais e subtropicais influenciados pela altitude, pela proximidade oceânica e pela compartimentação do relevo. O clima Aw (tropical com inverno seco) ocorre principalmente nas áreas de planície e baixadas litorâneas, abrangendo setores do Norte Fluminense e partes da Região Metropolitana, sendo caracterizado por verões chuvosos e invernos mais secos. O tipo Am (tropical úmido de monção) está associado às áreas litorâneas e encostas sujeitas à influência da umidade oceânica, apresentando elevados índices pluviométricos ao longo do ano e curta estação seca. Já os climas Cfa e Cwa predominam em regiões de transição e médias altitudes da Serra do Mar, caracterizando-se por temperaturas mais amenas e chuvas distribuídas ao longo do ano ou concentradas no verão. Os tipos Cfb e Cwb ocorrem nas áreas de maior altitude da Região Serrana e do maciço de Itatiaia, onde a influência altimétrica favorece temperaturas mais baixas com invernos rigorosos e verões amenos.

4 Metodologia

4.1 Base De Dados e Processamento Cartográfico

Os procedimentos metodológicos foram estruturados em etapas integradas de levantamento, padronização, ponderação temática e análise espacial em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). A área de estudo compreende o Estado do Rio de Janeiro, localizado na região Sudeste do Brasil. Para padronização cartográfica e redução das distorções métricas no processamento digital dos dados espaciais, adotou-se o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23 Sul, com datum SIRGAS 2000, por apresentar melhor adequação à extensão territorial da área analisada (IBGE, 2015).

A metodologia baseou-se em análise multicritério ambiental integrada, fundamentada nos referenciais clássicos de avaliação da aptidão agrícola das terras propostos por Ramalho Filho e Beek (1995) e FAO (1976; 1983).

As etapas metodológicas envolveram:

Variável	Fonte	Resolução/Escala	Uso na análise
Limite estadual e municipal	IBGE	malha territorial 1:250.000	Delimitação da área de estudo
Modelo Digital de Elevação	Copernicus DEM GLO-30	30 m	Base para relevo e declividade
Declividade	Derivada do Copernicus DEM	30 m	Identificação de limitações topográficas
Uso e cobertura da terra	MapBiomas Coleção 10	30 m	Identificação dos padrões atuais de ocupação
Solos	IBGE/Embrapa	1:250.000	Caracterização edáfica preliminar

As variáveis ambientais utilizadas foram organizadas em banco de dados georreferenciado, considerando bases secundárias oficiais e produtos raster de acesso público. A seleção das variáveis priorizou fatores diretamente relacionados à aptidão agrícola, como relevo, declividade, solos e uso atual da terra, reconhecendo-se que a ausência de dados de campo limita a interpretação em escala local.

Os dados altimétricos utilizados neste estudo foram obtidos a partir do modelo digital de elevação Copernicus DEM GLO-30, disponibilizado pela Agência Espacial Europeia (ESA) no âmbito do Programa Copernicus, com resolução espacial de 30 metros. O produto é derivado de dados interferométricos de radar e apresenta cobertura global, sendo amplamente empregado em análises geomorfológicas, ambientais e territoriais.

A imagem correspondente à área do Estado do Rio de Janeiro foi adquirida em formato GeoTIFF por meio da plataforma OpenTopography. Posteriormente, o arquivo raster foi

integrado no software ArcGIS Desktop, visando à elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) contínuo para toda a área de estudo.

Após a etapa de mosaico, o MDE foi reprojetado para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 / UTM Zona 23S, garantindo compatibilidade métrica e maior precisão nas análises espaciais. Em seguida, aplicou-se a ferramenta *Fill* para correção de depressões espúrias e inconsistências hidrológicas do modelo altimétrico.

Com base no MDE corrigido, foi gerado o mapa de declividade utilizando a ferramenta *Slope*, disponível no módulo *Terrain Analysis* do SAGAGIS. A declividade foi calculada em percentual (%) e posteriormente reclassificada segundo os intervalos propostos pela EMBRAPA: 0–3% (plano), 3–8% (suave ondulado), 8–20% (ondulado), 20–45% (forte ondulado), 45–75% (montanhoso) e acima de 75% (escarpado).

Os procedimentos de processamento digital, análise espacial e elaboração cartográfica foram realizados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software ArcGIS Desktop. A utilização do Copernicus DEM GLO-30 permitiu a obtenção de produtos cartográficos com maior detalhamento altimétrico e consistência espacial, subsidiando as análises ambientais e territoriais desenvolvidas nesta pesquisa.

4.2 Análise Multicritério

As variáveis consideradas incluíram declividade, classes de solos, uso e cobertura da terra e geomorfologia.

Os pesos atribuídos às variáveis foram definidos com base em referenciais clássicos de avaliação da aptidão agrícola, priorizando fatores edáficos e topográficos devido à influência sobre potencial produtivo e suscetibilidade à degradação.

Embora o presente estudo não utilize diretamente algoritmos supervisionados de aprendizado de máquina devido à ausência de dados de campo para treinamento e validação, técnicas de machine learning apresentam elevado potencial para aplicações futuras em análises de aptidão agrícola. A utilização desses métodos requer a construção de bases georreferenciadas contendo variáveis ambientais preditoras associadas a dados observados em campo, permitindo o treinamento e validação estatística de modelos preditivos.

Tabela 1: Pesos das variáveis na análise multicritério

Variável ambiental	Peso (%)	Justificativa
Declividade	40	Principal fator limitante à mecanização, ao preparo do solo e ao risco de erosão hídrica.
Solos	30	Influencia profundidade efetiva, drenagem, fertilidade natural e capacidade de retenção de água.
Uso e cobertura da terra	20	Indica a ocupação atual, áreas já antropizadas, vegetação natural e possíveis conflitos de uso.
Relevo/MDE	10	Auxilia na interpretação altimétrica e geomorfológica do território.
Total	**100**	—

Fonte: Autores, 2026

Os pesos atribuídos às variáveis ambientais foram definidos com base na relevância relativa de cada fator para a aptidão agrícola em escala regional, fundamentando-se em referenciais clássicos de avaliação da aptidão agrícola das terras e em abordagens de análise multicritério aplicadas ao planejamento territorial em ambiente SIG (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995; ROSS, 1994; MALCZEWSKI, 2006; PEREIRA, 2002). A declividade recebeu maior peso por representar uma das principais limitações físicas ao uso agrícola, especialmente quanto à mecanização e à suscetibilidade à erosão. As classes de solos foram consideradas o segundo fator de maior importância, em função de sua relação com profundidade efetiva, drenagem, fertilidade natural e capacidade de retenção de água. O uso e cobertura da terra foi utilizado como indicador da ocupação atual do território, enquanto o relevo derivado do Modelo Digital de Elevação (MDE) auxiliou na interpretação geomorfológica e altimétrica da área de estudo.

5.3 Classificação Final

A integração das variáveis foi realizada por álgebra de mapas ponderada, conforme a expressão:

$$\mathbf{IA = (D \times 0{,}40) + (S \times 0{,}30) + (U \times 0{,}20) + (R \times 0{,}10)}$$

Onde:

Símbolo	Significado
IA	Índice de aptidão agrícola preliminar
D	Nota atribuída à classe de declividade
S	Nota atribuída à classe de solo

Símbolo	Significado
U	Nota atribuída ao uso e cobertura da terra
R	Nota atribuída ao relevo/MDE

Tabela 2: Critérios interpretativos

Índice final	Classe de aptidão	Características interpretativas
4,0 – 5,0	Alta aptidão	Áreas com menores restrições topográficas e ambientais, favoráveis ao uso agrícola
3,0 – 3,9	Média aptidão	Áreas com limitações moderadas, exigindo manejo conservacionista
2,0 – 2,9	Baixa aptidão	Áreas com restrições relevantes relacionadas ao relevo, solos ou uso atual
1,0 – 1,9	Muito baixa/Inapta	Áreas com elevada fragilidade ambiental ou limitações severas ao uso agrícola

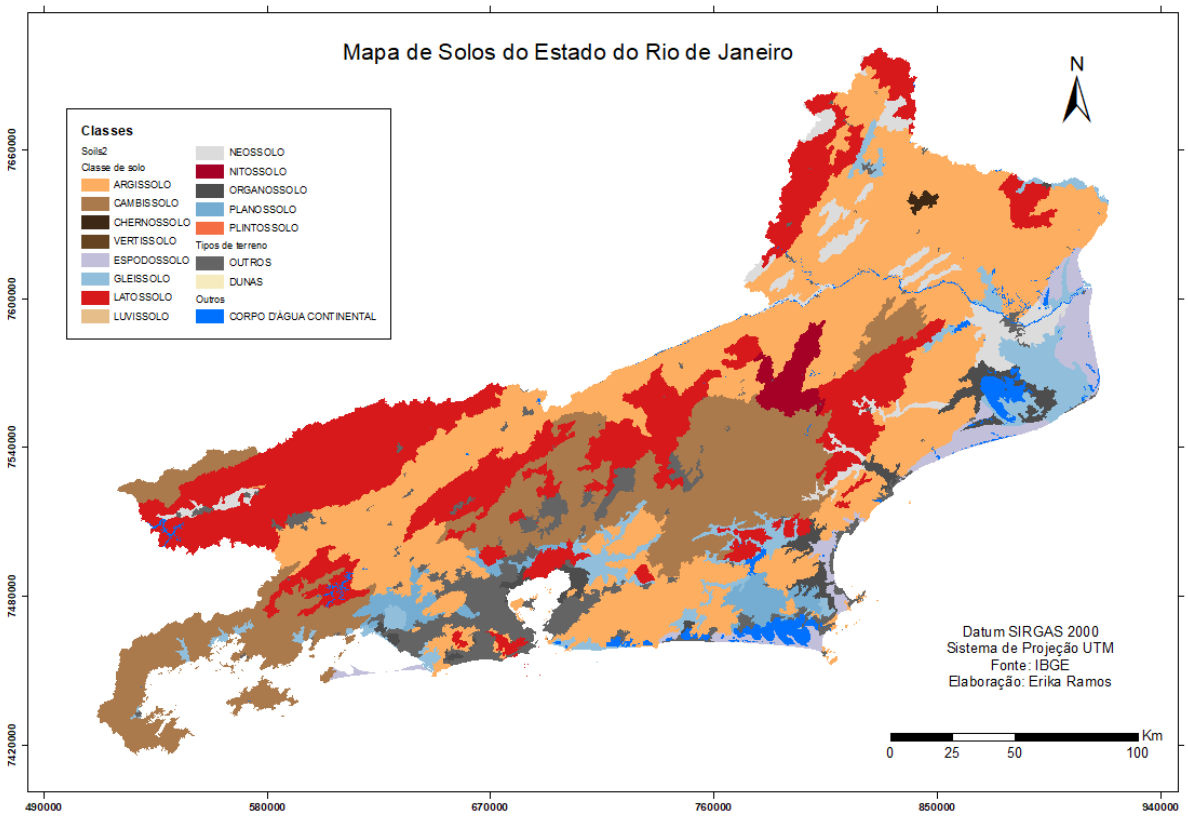
Fonte: Adaptado do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras de Ramalho Filho e Beek, 1995

Os critérios interpretativos utilizados para classificação da aptidão agrícola foram estabelecidos com base na integração ponderada das variáveis ambientais e na intensidade relativa das limitações físicas do território. As classes finais foram organizadas em níveis de aptidão alta, média, baixa e muito baixa/inapta, considerando principalmente restrições associadas à declividade, características edáficas, uso atual da terra e fragilidade ambiental.

5 Resultados e Discussão

As análises espaciais preliminares evidenciaram elevada heterogeneidade ambiental no território fluminense, especialmente em função das diferenças geomorfológicas e climáticas observadas entre regiões serranas, baixadas litorâneas e áreas interiores.

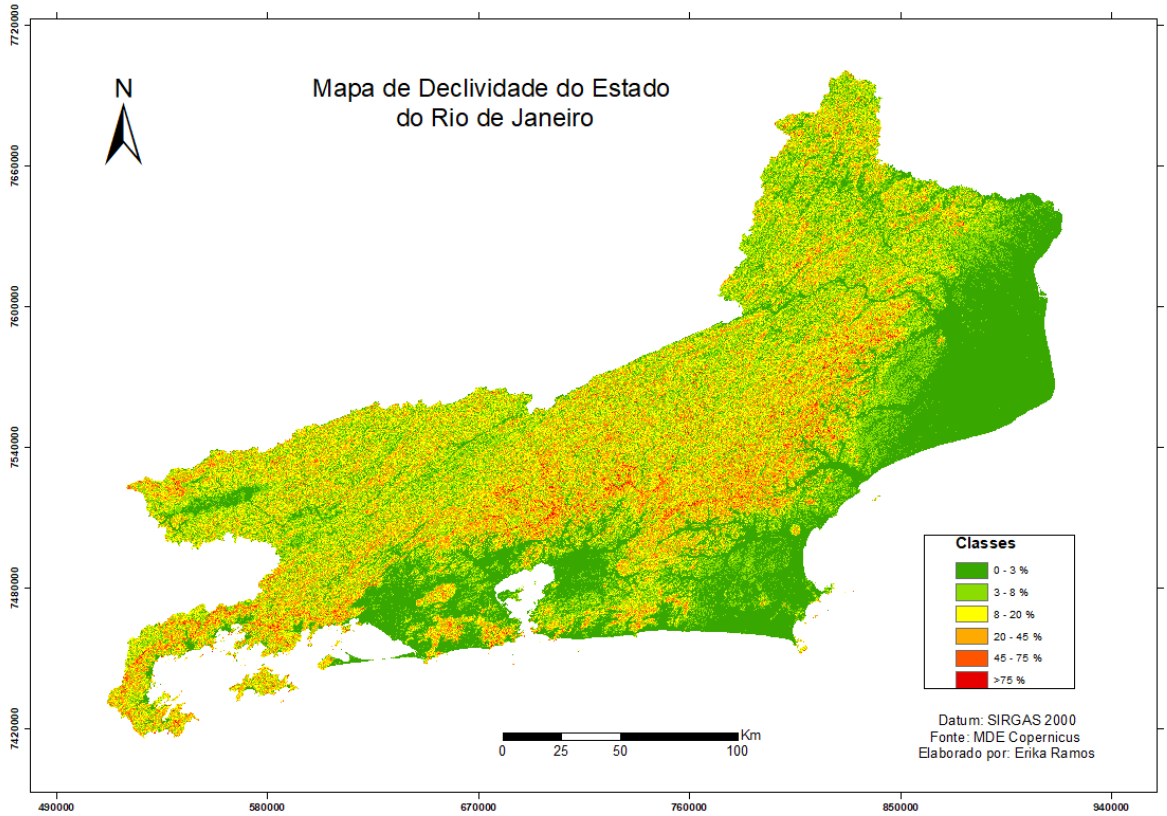
Figura 2: Distribuição espacial das classes de solos no estado do Rio de Janeiro.



Fonte: IBGE

O mapa de solos do estado do Rio de Janeiro evidenciou predominância de Argissolos e Latossolos em grande parte do território fluminense, especialmente nas áreas de relevo ondulado e suavemente ondulado. Os Cambissolos apresentaram maior ocorrência nas regiões serranas e de relevo mais movimentado, enquanto Gleissolos, Organossolos e Planossolos concentraram-se nas baixadas e planícies costeiras associadas a ambientes com maior influência hídrica (SANTOS et al., 2018). Os Neossolos ocorreram principalmente em áreas de relevo acidentado e depósitos arenosos recentes, demonstrando a influência das condições geomorfológicas e da dinâmica sedimentar na distribuição das classes pedológicas do estado (CARVALHO FILHO et al., 2001; EMBRAPA, 2003; SANTOS et al., 2018). Os resultados obtidos reforçam a importância do mapeamento pedológico como ferramenta de suporte ao planejamento territorial, à avaliação da aptidão agrícola e à definição de estratégias de conservação dos recursos naturais.

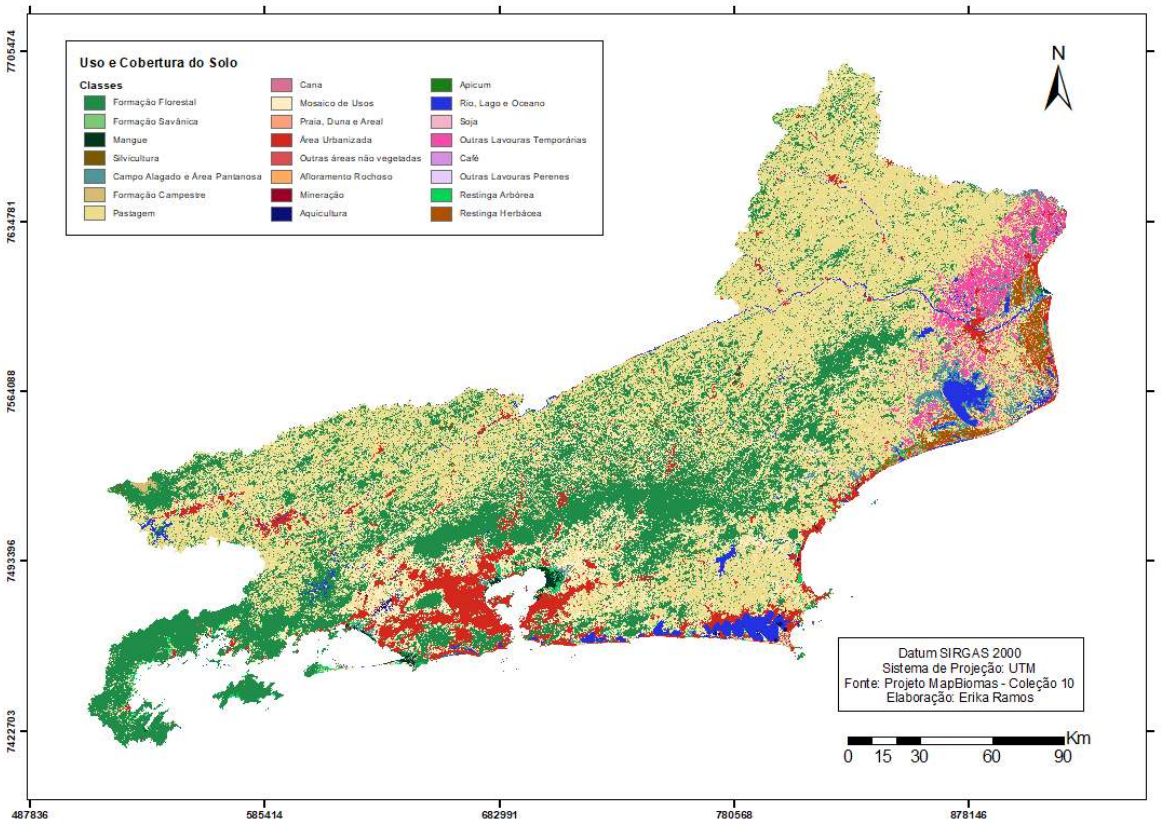
Figura 3: Distribuição espacial das classes de declividade do Estado do Rio de Janeiro



Fonte: derivadas do Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus DEM GLO-30

A Figura apresenta o mapa de declividade do estado do Rio de Janeiro, elaborado a partir do Modelo Digital de Elevação Copernicus DEM GLO-30. O mapa de declividade evidenciou predominância de relevo ondulado a forte ondulado em grande parte do território fluminense, especialmente nas regiões Serrana, Centro-Sul e Costa Verde, caracterizadas por elevadas amplitudes altimétricas e maior dissecação do relevo. Em contrapartida, as áreas de relevo plano e suave ondulado concentram-se principalmente nas baixadas costeiras, na Região Norte Fluminense e em porções das planícies associadas aos principais sistemas fluviais. Essas condições influenciam diretamente a aptidão agrícola das terras, sobretudo quanto à mecanização agrícola, suscetibilidade à erosão hídrica e potencial de conservação do solo.

Figura 4: Distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra no Estado do Rio de Janeiro



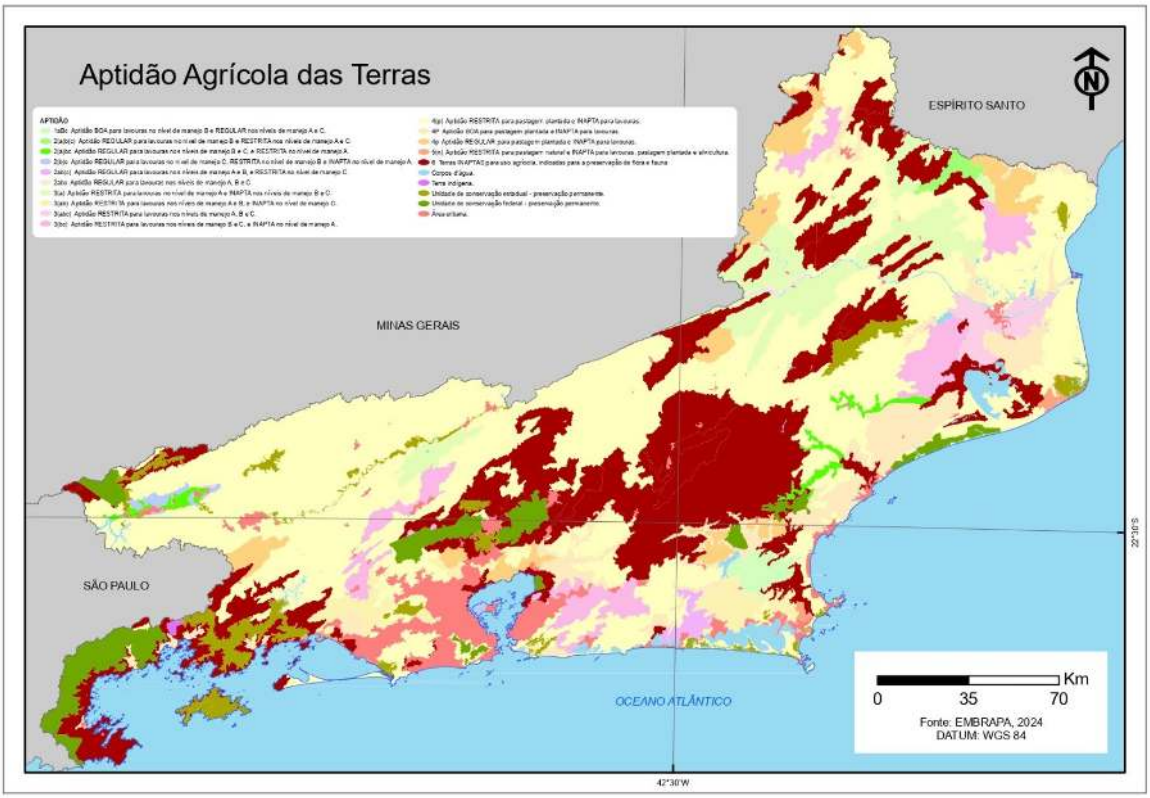
Fonte: MapBiomas, Coleção 10, 2024

As análises de uso e cobertura da terra demonstraram coexistência de áreas agrícolas, pastagens, fragmentos de Mata Atlântica e áreas urbanizadas. A agricultura familiar mostrou-se distribuída principalmente em áreas de relevo moderado, embora também tenham sido identificados sistemas produtivos em áreas ambientalmente restritivas.

Os resultados também indicam que a ocupação agrícola nem sempre coincide com áreas de maior aptidão biofísica, refletindo influência de fatores históricos, fundiários e socioeconômicos sobre a organização territorial da agricultura familiar.

Apesar da ausência de validação de campo, a metodologia demonstrou coerência espacial e potencial para subsidiar análises territoriais exploratórias em escala estadual.

Figura 5: Mapa de aptidão agrícola das terras do estado do Rio de Janeiro,



Fonte: elaborado a partir de dados da EMBRAPA (2024).

O mapa de aptidão agrícola das terras do estado do Rio de Janeiro representado na Figura 5 relata a variação nas condições ambientais que influenciam o uso agrícola. Observa-se predominância de áreas classificadas com aptidão regular e restrita para lavouras em grande parte do território fluminense, refletindo limitações relacionadas principalmente ao relevo, às características edáficas e à fragilidade ambiental de determinadas regiões (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995; ROSS, 1994).

As áreas de maior aptidão agrícola concentram-se principalmente em setores de relevo mais suave e em regiões com melhores condições pedológicas, favorecendo o desenvolvimento de atividades agrícolas com menores limitações físicas ao manejo. Em contrapartida, as regiões serranas e áreas com relevo fortemente ondulado apresentaram maior ocorrência de classes restritivas e áreas consideradas inaptas para lavouras, associadas ao elevado potencial de erosão e às limitações topográficas. Observa-se ainda influência das condições climáticas regionais sobre a distribuição espacial da aptidão, especialmente em áreas serranas e setores sujeitos a maiores índices pluviométricos, onde a combinação entre declividade alta e os altos íncides de precipitação potencializa processos erosivos e limita o uso agrícola intensivo.

Em contrapartida, áreas de relevo mais suave e menor restrição topográfica apresentaram condições mais favoráveis à ocupação agrícola e ao manejo mecanizado.

Também foram identificadas áreas destinadas prioritariamente à preservação ambiental, incluindo unidades de conservação, corpos hídricos e regiões com elevada fragilidade ecológica. Essas áreas apresentam restrições legais e ambientais ao uso agrícola, reforçando a necessidade de planejamento territorial integrado (EMBRAPA, 2015; IBGE, 2013).

Os resultados demonstram que a distribuição espacial da aptidão agrícola no estado do Rio de Janeiro encontra-se diretamente relacionada à variabilidade geomorfológica e ambiental do território, evidenciando a importância da utilização de produtos cartográficos como suporte ao planejamento agrícola sustentável e à gestão territorial da agricultura familiar

6 Conclusão

A análise integrada dos produtos cartográficos permitiu identificar contrastes relevantes no território fluminense, especialmente quanto à distribuição do relevo, às classes de declividade e aos padrões de uso e cobertura da terra. Esses elementos são fundamentais para compreender as possibilidades e limitações do uso agrícola no estado, sobretudo em uma abordagem preliminar baseada em dados geoespaciais secundários.

A integração de variáveis ambientais em ambiente SIG demonstrou potencial para identificar padrões espaciais associados à aptidão agrícola da agricultura familiar no estado do Rio de Janeiro.

Os resultados indicaram forte influência do relevo, da distribuição climática e das características dos solos sobre o potencial agrícola das diferentes regiões do estado. A variabilidade climática regional e a sazonalidade das chuvas também representam fatores relevantes para o planejamento agrícola da agricultura familiar, especialmente em áreas suscetíveis a déficits hídricos sazonais e instabilidade ambiental. Além disso, verificou-se que parte significativa da agricultura familiar encontra-se estabelecida em áreas com limitações ambientais intermediárias, evidenciando influência de fatores históricos e socioeconômicos na ocupação do território.Apesar das limitações decorrentes da ausência de validação de campo, a metodologia proposta apresenta coerência técnica e aplicabilidade para análises exploratórias territoriais, podendo subsidiar planejamento agrícola, assistência técnica e políticas públicas voltadas ao uso sustentável do solo. Estudos futuros poderão incorporar dados de campo e séries produtivas históricas para ampliação da robustez analítica e eventual aplicação de técnicas supervisionadas de aprendizado de máquina.

Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.. Acesso em: 13 maio 2026.

BRASIL. **Lei nº 11.326**, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 25 jul. 2006.

CAMARGO, E. C. G.; FELGUEIRAS, C. A. **Análise espacial de dados geográficos.** In: DRUCK, S. et al. (org.). Análise espacial de dados geográficos. Brasília: EMBRAPA, 2004. p. 29-60.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais.** São José dos Campos: INPE, 1998.

CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. dos. **Os solos do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: CPRM/Embrapa Solos, 2001.

CARVALHO JUNIOR, W. de; PEREIRA, N. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; CALDERANO FILHO, B.; PINHEIRO, H. S. K.; CHAGAS, C. da S.; BHERING, S. B.; PEREIRA, V. R.; LAWALL, S. **Sample design effects on soil unit prediction with machine learning: randomness, uncertainty, and majority map**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 44, e0190120, 2020. DOI: 10.36783/18069657rbcs20190120.

EMATER-RJ. **Relatórios técnicos e diagnósticos da agricultura familiar no Estado do Rio de Janeiro**. Niterói: EMATER-RJ, diversos anos.

EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 231 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 32).

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018.

EMBRAPA**. Zoneamento agroecológico: conceitos, métodos e aplicações**. Brasília: Embrapa, 2015.

European Space Agency (2024). Copernicus Global Digital Elevation Model. Distributed by OpenTopography. https://doi.org/10.5069/G9028PQB. Acesso em 08 de maio de 2026

FAO. **A framework for land evaluation**. Rome: FAO, 1976.

FAO. **Guidelines for land evaluation for rainfed agriculture**. Rome: FAO, 1983.

FAO. **Sustainable land management for agriculture and food security.** Rome: FAO, 2017.

FOTHERINGHAM, A. S.; BRUNSDON, C.; CHARLTON, M. **Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships.** Chichester: Wiley, 2002.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

IBGE.**Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IBGE. **Malha territorial do Brasil**: estados (escala 1:25.000). Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html. Acesso em: 10 abr. 2026.

INEA. **Base cartográfica e ambiental do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: INEA, diversos anos.

KÖPPEN, W.; GEIGER., R. **Klimate der Erde.** Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

Ko¨ppen's climate classification map for Brazil

LORENSINI, C. L. **Metodologia para classificação da aptidão agrícola de municípios**. 2019. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Água e Solo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

MALCZEWSKI, J. **GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature**. International Journal of Geographical Information Science, v. 20, n. 7, p. 703 - 726, 2006.

MOREIRA, G. F.; FERNANDES, R. B. A.; FERNANDES FILHO, E. I.; VIEIRA, C. A. O.; SANTOS, K. A. dos. **Classificação automatizada do uso e cobertura do solo usando imagens Landsat**. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 6, n. 1, p. 58 - 65, 2013.

PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental**: proposta metodológica. 2002. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MAPBIOMAS. Coleção 10 (2024) da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, através do link: https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas. Acesso em 22 abr 2026.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 8,p. 63 - 74, 1994.

SAGA - GIS. **System for Automated Geoscientific Analyses.** Disponível em: https://www.saga-gis.org. Acesso em: 02 maio 2026.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SILVA, S. G. da; GIASSON, E.; SENA, A. F. S. de; BOSCO, V. D.; BAMPI, E. F.

Levantamento dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da bacia do Arroio Faxinal. Revista Sítio Novo Palmas, Palmas, v. 8, n. 4, p. 124 - 138, 2024.

TAGHIZADEH-MEHRJARDI, R.; NABIOLLAHI, K.; RASOLI, L.; KERRY, R.; SCHOLTEN, T. **Land suitability assessment and agricultural production sustainability using machine learning models**. Agronomy, Basel, v. 10, n. 4, p. 573, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10040573.

VASCONCELOS, E. (2024). **Integração de Aprendizado de Máquina e Sustentabilidade**: Análise Da Produtividade Agrícola Com O Modelo Random Forest. IOSR Journal of Business and Management. 26. 50-57. 10.9790/487X- 2612065057.