



ISSN: 2310-0036

Vol. 1 | Nº. 17 | Ano 2026

Vitalina B. Temporário

Universidade Católica de
Moçambique

vitalina12temporario@gmail.com



Rua: Comandante Gaivão nº 688

C.P.: 821

Website: <http://www.ucm.ac.mz/cms/>

Revista: <http://www.reid.ucm.ac.mz>

Email: reid@ucm.ac.mz

Tel.: (+258) 23 324 809

Fax: (+258) 23 324 858

Beira, Moçambique

Zoneamento agro-ecológico para espécie *eucalyptus grandis* através de sistema de informação geográfica: estudo de caso do posto administrativo de manimba

Agroecological zoning for the species eucalyptus grandis using a geographic information system: a case study of the manimba administrative post

RESUMO

O estudo teve como objectivo principal realizar o zoneamento agroecológico para o cultivo de espécies do *Eucalyptus grandis* no Posto Administrativo de Manimba, distrito do Lago, província do Niassa, Moçambique. Utilizando técnicas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a pesquisa integrou factores ambientais como tipos de solo, precipitação, temperatura superficial, declividade e cobertura vegetal (avaliada pelo NDVI). Dados geoespaciais foram colectados e analisados com softwares especializados como ArcGIS e QGIS, aplicando análise multicritério com atribuição de pesos a cada factor ambiental. Foi criado um Índice de Elegibilidade (IE) que classificou a área em quatro categorias: alta, média, baixa aptidão e não elegível para cultivo. Os resultados obtidos indicam que cerca de 45,2% da área apresentam uma aptidão média a alta, caracterizada por solos bem drenados, declives suaves e regime pluviométrico favorável. Aproximadamente 14,6% foram considerados não elegíveis, devido a declives acentuados, solos hidromórficos e temperaturas extremas. A análise do uso do solo revelou que 33,76% são cobertos por vegetação arbórea e 23,56% por actividades agrícolas, demonstrando pressão antrópica significativa. O estudo conclui que o zoneamento agroecológico, baseado em SIG, é uma ferramenta eficaz para orientar políticas públicas de uso sustentável da terra, conciliando produção florestal e conservação ambiental. Recomenda-se a implementação de sistemas de monitoramento contínuo das áreas plantadas e programas de capacitação para as comunidades locais, visando garantir a sustentabilidade das actividades ligadas à silvicultura, a longo prazo na região de Manimba.

Palavras-chave: Zoneamento Agroecológico, SIG, *Eucalyptus grandis*.

Abstract

The main objective of this study was to carry out agroecological zoning for the cultivation of *Eucalyptus grandis* species in the Manimba Administrative Post, Lago District, Niassa Province, Mozambique. Using Geographic Information System (GIS) techniques, the research integrated environmental factors such as soil types, precipitation, surface temperature, slope, and vegetation cover (assessed through NDVI). Geospatial data were collected and analyzed using specialized software such as ArcGIS and QGIS, applying multicriteria analysis with the assignment of weights to each environmental factor. An Eligibility Index (EI) was created, classifying the area into four categories: high, medium, low suitability, and not eligible for cultivation. The results indicated that approximately 45.2% of the area shows medium to high suitability, characterized by well-drained soils, gentle slopes, and a favorable rainfall regime. About 14.6% was considered not eligible due to steep slopes, hydromorphic soils, and extreme temperatures. Land-use analysis revealed

that 33.76% of the area is covered by arboreal vegetation and 23.56% by agricultural activities, demonstrating significant anthropogenic pressure. The study concludes that GIS-based agroecological zoning is an effective tool for guiding public policies on sustainable land use, reconciling forest production with environmental conservation. The implementation of continuous monitoring systems for planted areas and training programs for local communities is recommended in order to ensure the long-term sustainability of silvicultural activities in the Maniamba region.

Keywords: Agroecological Zoning, GIS, *Eucalyptus grandis*.

1. Introdução

Em meados da década de 2000, o *Eucalyptus* foi introduzido em Moçambique por entidades governamentais no contexto da redução da pressão sobre as florestas nativas, por meio da Estratégia Nacional de Reflorestamento, que promoveu o uso de espécies de rápido crescimento. Entretanto, estima-se que existam aproximadamente 7 milhões de hectares aptos ao reflorestamento, sendo a província do Niassa a detentora da maior área (2,4 milhões de hectares) (Nube et al., 2016).

Apesar desse potencial, a área actualmente plantada é relativamente reduzida, totalizando aproximadamente 60 mil hectares, a maioria constituída por povoamentos jovens, estabelecidos nos últimos 15 anos (Bila, 2018).

Dado o potencial da província do Niassa, para abrigar plantações florestais com espécies exóticas de rápido crescimento, destinadas ao abastecimento industrial, há uma necessidade premente de realização de estudos de zoneamento agroecológico que indiquem as espécies adequadas para cultivo, conforme o tipo de solo e clima da região. O Ministério da Agricultura (2015) reconhece a necessidade de garantir acesso e segurança sobre a posse da terra aos investidores. Todavia, a inexistência de um plano de uso da terra que indique as áreas específicas destinadas às plantações florestais representa um entrave significativo (Bila, 2018).

Nesse sentido, a combinação de técnicas de avaliação multicritério, definição de pesos, uso de tecnologias de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG), com a participação de especialistas, pode oferecer subsídios relevantes para decisões mais eficientes sobre uso da terra e manejo territorial (Costa, 2001).

Diante desse cenário, torna-se essencial responder a seguinte questão: Quais são as áreas com aptidão agroecológica para o cultivo de *Eucalyptus grandis* no posto administrativo de Maniamba, distrito do Lago?

De forma a responder à questão de pesquisa, traçou-se os seguintes objectivos:

Geral:

- Realizar o zoneamento agroecológico para o cultivo de *Eucalyptus grandis* no posto administrativo de Maniamba.

Específicos:

- Mapear o uso e cobertura do solo na área de estudo;

- Caracterizar os factores agroecológicos (solo, precipitação, temperatura, relevo e vegetação — NDVI) da região;
- Identificar áreas elegíveis e não elegíveis para o cultivo de *Eucalyptus grandis*.

2. Revisão da Literatura

2.2 Conceito de Zoneamento Agro-ecológico

O zoneamento agroecológico (ZAE) é uma ferramenta técnica e científica voltada para o ordenamento territorial, com base na aptidão dos diferentes ambientes para determinados usos agrícolas ou florestais. Segundo Embrapa (2011), o ZAE busca integrar informações climáticas, edáficas, fisiográficas e socioeconómicas para orientar políticas públicas e investimentos no sector agrário. Dessa forma, constitui-se num instrumento estratégico para a sustentabilidade do uso da terra.

A aplicação do ZAE em florestas plantadas, como o *Eucalyptus grandis*, é estratégica para garantir a sustentabilidade da cadeia produtiva. Avaliar previamente o potencial da área quanto à disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, declividade e uso actual do solo contribui para decisões mais assertivas e seguras (Silva & Oliveira, 2018). Portanto, o zoneamento agroecológico é uma etapa indispensável para o planeamento racional de empreendimentos silviculturais.

2.3 Geotecnologias e SIG aplicados ao Zoneamento

As geotecnologias e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) desempenham um papel fundamental na implementação do zoneamento agroecológico, pois permitem a análise espacial detalhada e a integração de dados ambientais e socioeconómicos. De acordo com Andrade et al. (2019), os SIG possibilitam a criação de mapas temáticos que podem ser usados para identificar áreas adequadas para diferentes tipos de uso da terra, como agricultura, pecuária e silvicultura. Esses sistemas são capazes de processar grandes volumes de dados geoespaciais, tornando a análise mais eficiente e precisa.

A aplicação de SIG em projectos de zoneamento agroecológico contribui para a optimização do uso da terra, evitando conflitos entre as actividades económicas e os objectivos de conservação ambiental (Costa *et al.*, 2020). A integração de imagens de satélite e dados topográficos, por exemplo, permite que os profissionais do sector avaliem as condições do solo e identifiquem áreas com maior potencial de produtividade e menores riscos ambientais.

A utilização de geotecnologias e SIG tem-se expandido nas últimas décadas, proporcionando novas oportunidades para o planeamento territorial sustentável. Esses sistemas têm sido cada vez mais utilizados em estudos de zoneamento agroecológico, oferecendo ferramentas poderosas para a gestão eficaz dos recursos naturais e o desenvolvimento de práticas agrícolas e florestais mais sustentáveis (Souza *et al.*, 2019).

2.4 Experiências Semelhantes em Zoneamento com *Eucalyptus*

Diversas experiências de zoneamento agroecológico voltadas ao cultivo de eucaliptos têm sido desenvolvidas em países tropicais, com destaque para o Brasil. Segundo Oliveira *et al.* (2017), esses estudos têm como objectivo identificar as áreas mais aptas ao plantio, considerando aspectos como clima, solo, relevo e acesso à infraestrutura. Os resultados geralmente indicam que a adopção de critérios múltiplos contribui para uma ocupação mais racional e sustentável do território.

No estado de Minas Gerais, Brasil, foi realizado um zoneamento para a silvicultura de *Eucalyptus* com base em geotecnologias, integrando variáveis ambientais com o uso de SIG (Freitas *et al.*, 2016). O estudo identificou zonas prioritárias para o cultivo, bem como áreas restritas devido à fragilidade ambiental. Os autores destacam a importância da inclusão de dados climáticos e sociais para garantir uma visão holística do território.

Em Moçambique, experiências semelhantes têm sido conduzidas na região centro-norte do país, especialmente em áreas com aptidão florestal e disponibilidade de infra-estrutura (Matos *et al.*, 2022). O uso de imagens de satélite e dados geográficos tem auxiliado empresas florestais e órgãos públicos na definição de áreas produtivas com menor impacto ambiental, além de contribuir para o ordenamento fundiário.

Essas experiências demonstram a importância do zoneamento como ferramenta de apoio à tomada de decisão. Além de orientar o sector produtivo, o ZAE também subsidia políticas públicas de desenvolvimento territorial, conservação ambiental e regularização fundiária (Santos & Almeida, 2020). Portanto, investir em estudos similares no contexto de *Eucalyptus grandis* é uma estratégia promissora para garantir sustentabilidade e eficiência nas cadeias florestais.

3. Metodologia de Investigação

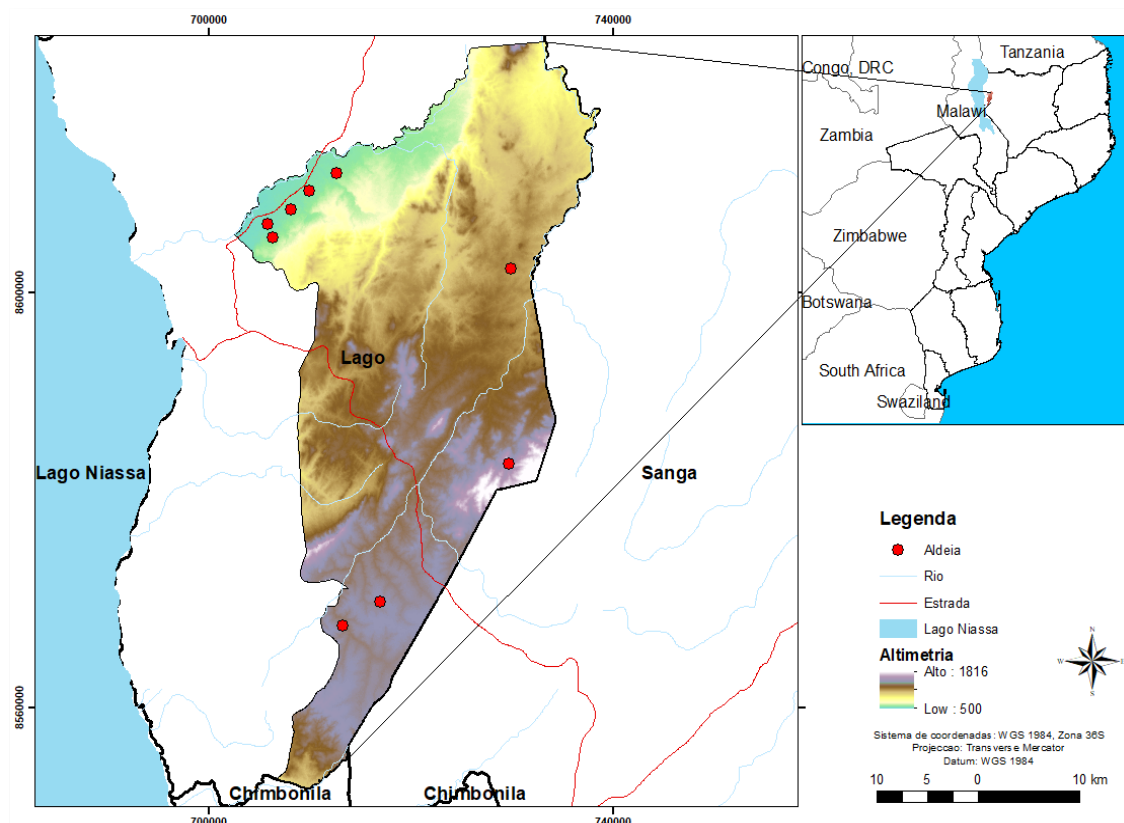
Para o estudo, aplicou-se uma abordagem quantitativa por meio de utilização das geotecnologias como ferramentas essenciais para a análise espacial integrada de variáveis ambientais, visando a geração de mapas temáticos e a elaboração de um índice de elegibilidade para o cultivo de espécies de *Eucalyptus grandis* no distrito em estudo. Focalizando-se na combinação de técnicas de avaliação multicritério, definição de pesos com base no uso de tecnologias de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (SIG).

3.2 Localização da Área de Estudo

O estudo conduziu-se no Norte de Moçambique, Província de Niassa, distrito de Lago, no Posto administrativo de Maniamba. A área de estudo cobre uma extensão territorial de 126383.6 ha. Está limitada a Sul, pelo Posto administrativo de Meponda; a Este, pelo distrito de Sanga; e a Oeste, pelo Lago Niassa. Localiza-se entre as seguintes coordenadas UTM (WGS 84, Zona 36S): Coordenada Este (E) 731799 e Coordenada Norte (N) 8598904, no extremo Norte; Coordenada Este (E) 716960 e Coordenada Norte (N) 8557763, no extremo Sul; Coordenada

Este (E) 727664 e Coordenada Norte (N) 8575979, no extremo Leste; e Coordenada Este (E) 705742 e Coordenada Norte (N) 8566649, no extremo Oeste (Figura 1).

Figura 1: Área de Estudo.



Fonte: Autora (2025).

3.3 Aquisição e Processamento dos Dados Temáticos

➤ Precipitação Pluviométrica

Os dados pluviométricos foram obtidos em formato vectorial junto ao Instituto Nacional de Gestão e Redução do Risco de Desastres (INGD), contendo registos de estações distribuídas ao longo da área de estudo. Para representar a distribuição espacial da precipitação, aplicou-se a técnica de interpolação por Densidade de Kernel no *ArcGIS Pro*, método adequado para estimar a intensidade de ocorrência de fenómenos contínuos com base na concentração de pontos amostrais (Silverman, 1986). O resultado da interpolação gerou um *raster* contínuo, posteriormente reclassificado em faixas qualitativas (baixa, média e alta precipitação) com base em estatística descritiva anual.

➤ Temperatura Média Superficial

A estimativa da temperatura média da superfície terrestre (*Land Surface Temperature* - LST) foi realizada com base em imagens do satélite **Landsat 8**, especificamente das bandas térmicas **B10** e **B11** do sensor **TIRS** (*Thermal Infrared Sensor*), obtidas por meio da plataforma *Earth*

Explorer do USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). A selecção das cenas considerou condições atmosféricas favoráveis, como céu limpo e baixa humidade, a fim de minimizar interferências na qualidade radiométrica dos dados.

O processamento foi conduzido no **QGIS 3.28**, com o apoio do **plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)**, sendo executadas as seguintes etapas:

1. **Conversão do valor digital (Digital Number - DN) para radiância espectral ($L\lambda$)**;
2. Conversão da radiância para **temperatura de brilho (Brightness Temperature)** em Kelvin;
3. Conversão da temperatura de brilho de Kelvin para **graus Celsius**.

a) Conversão de DN para Radiância

A radiância espectral foi calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$L\lambda = ML \times Q_{cal} + AL$$

Onde:

- $L\lambda$ = Radiância espectral ($W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$)
- ML = Factor multiplicador de radiância (fornecido no arquivo MTL)
- Q_{cal} = Valor digital do pixel
- AL = Valor de adição (*offset*) de radiância (do arquivo MTL)

b) Conversão de Radiância para Temperatura em Kelvin

Após a obtenção da radiância, a temperatura de brilho (T) em Kelvin foi estimada com a equação:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{L\lambda}{K1} + 1\right)}$$

Onde:

- T = Temperatura de brilho (Kelvin)
- K1 e K2 = Constantes específicas da banda (do arquivo MTL)
- $L\lambda$ = Radiância espectral calculada anteriormente
- ln = Logaritmo natural

c) Conversão de Kelvin para Celsius

A conversão final foi feita através da fórmula:

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15$$

Essa conversão permitiu interpretar os valores em uma escala mais compreensível. O raster final foi gerado usando a **Calculadora raster** do QGIS, aplicando as fórmulas descritas para cada etapa, resultando em um mapa temático contínuo da temperatura superficial em graus Celsius.

d) Classificação dos Intervalos Térmicos

Com base na literatura climatológica voltada para regiões tropicais, os valores foram classificados nos seguintes intervalos:

- **Baixa temperatura:** < 25 °C
- **Temperatura média:** 25 °C – 30 °C
- **Alta temperatura:** > 30 °C

Esse procedimento permitiu identificar espacialmente áreas de maior aquecimento superficial, que podem estar associadas a modificações no uso e cobertura do solo, como urbanização ou desmatamento.

➤ **Vegetação (NDVI)**

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi calculado a partir das imagens *Landsat 8*, utilizando o *software QGIS 3.28*, com o suporte do *plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*. Antes do cálculo, as cenas passaram por correção atmosférica pelo método DOS1 (*Dark Object Subtraction*), que reduz os efeitos da dispersão atmosférica e melhora a precisão dos valores espectrais.

Para o cálculo do NDVI, utilizou-se a ferramenta Calculadora Raster do QGIS, que permite realizar operações matemáticas pixel a pixel entre as bandas espectrais da imagem. A fórmula aplicada foi:

$$NDVI = \frac{\text{Banda 5 (IVP)} - \text{Banda 4 (R)}}{\text{Banda 5 (IVP)} + \text{Banda 4 (R)}}$$

Essa operação computacional resulta num novo raster, onde cada pixel recebe um valor entre -1 e +1, indicando o vigor e a densidade da vegetação presente. Valores próximos a +1 representam vegetação densa e saudável, enquanto valores próximos a zero, ou negativos, indicam áreas com pouca ou nenhuma cobertura vegetal.

A imagem NDVI gerada foi então classificada em quatro categorias distintas para facilitar a interpretação:

- **Vegetação densa:** NDVI > 0,6

- Vegetação moderada: NDVI entre 0,3 e 0,6
- Vegetação esparsa: NDVI entre 0 e 0,3
- Ausência de vegetação: NDVI < 0

O uso da Calculadora *raster* no QGIS garantiu agilidade e precisão no processamento, possibilitando a manipulação directa dos dados espectrais de forma eficiente e integrada ao fluxo de trabalho geoespacial do projecto.

➤ **Tipos de Solo**

A distribuição dos tipos de solo foi obtida através de dados vectoriais do portal *Forest-GIS* (<https://forest-gis.com/shapefiles-e-dados-gis-de-mocambique/>), contendo a classificação conforme a taxonomia FAO-UNESCO. Os dados foram importados para o *ArcGIS Pro*, reprojectados para o sistema UTM WGS 84 Zona 36S, e recortados para delimitar a área de estudo. A nomenclatura original foi mantida para garantir a consistência e padronização na representação temática.

➤ **Declividade**

O mapa de declividade foi gerado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 metros, obtido no *Earth Explorer*. Utilizando a ferramenta “*Slope*” do *ArcGIS Pro*, foi criado um raster com valores percentuais de declividade. A categorização seguiu a proposta de Ross (1992): plano (0–3%), suave ondulado (3–8%), ondulado (8–20%), fortemente ondulado (20–45%) e montanhoso (>45%).

➤ **Uso e Ocupação do Solo**

Os dados referentes ao uso e ocupação do solo foram extraídos do portal *ArcGIS Online* (<https://www.arcgis.com/apps/instant/mapviewer/>), contendo vectores classificados em categorias específicas, tais como áreas urbanas, agrícolas, vegetação natural, corpos hídricos e áreas degradadas. A base de dados incluía metas de dados detalhados sobre a metodologia de classificação e matriz de acurácia. Foi realizada validação qualitativa por meio de sobreposição com imagens de alta resolução e uso de pontos de controlo aleatórios.

3.4 Harmonização dos Dados Espaciais

Para garantir a compatibilidade e integração entre os diferentes dados temáticos, todas as camadas foram reprojectadas e harmonizadas no sistema de referência espacial UTM WGS 84, Zona 36S. Este procedimento é fundamental para evitar distorções e garantir a precisão nas análises espaciais subsequentes.

➤ **Metodologia para Elaboração do Índice de Elegibilidade para o Cultivo de *Eucalyptus grandis***

Seleção e Reclassificação dos Factores Ambientais

Consideraram-se cinco factores ambientais fundamentais para a aptidão ao cultivo das espécies estudadas, seleccionados com base nas exigências ecológicas das espécies: tipo de solo, declividade, precipitação, NDVI e temperatura. Cada factor foi reclassificado em classes temáticas, numericamente codificadas conforme o nível de aptidão para o cultivo (Tabela 3):

Tabela 1: Reclassificação dos Factores Ambientais

Factor	Classe Alta (3)	Classe Média (2)	Classe Baixa (1)	Inadequada (0)
Solo	Latossolo	Cambissolo	Arenossolo	Gleissolo
Declividade	0–12%	12–20%	>20%	>25%
Precipitação	>1.000 mm	800–1.000 mm	<800 mm	<600 mm
NDVI	>0.4	0.2–0.4	<0.2	<0.2
Temperatura	20–32°C	<20°C ou >32°C	>35°C	>35°C

Atribuição de Pesos aos Critérios

A importância relativa de cada factor foi definida com base em literatura especializada e conhecimento ecológico das espécies, atribuindo-se pesos percentuais conforme a seguinte matriz (Tabela 2):

Tabela 2: Pesos aos Critérios

Critério	Peso (%)
Tipo de Solo	30
Declividade	20
Precipitação	20
NDVI	15
Temperatura	15

Integração das Camadas Temáticas e Cálculo do Índice de Elegibilidade

As camadas reclassificadas foram integradas por meio da ferramenta de álgebra de mapas (Map Algebra) disponível nos *softwares ArcGIS Pro* e *QGIS*, aplicando a fórmula do Índice de Elegibilidade (IE):

$$IE = (S \times 0.30) + (D \times 0.20) + (P \times 0.20) + (N \times 0.15) + (T \times 0.15)$$

onde:

- S = valor numérico atribuído ao tipo de solo
- D = valor numérico da declividade
- P = valor numérico da precipitação
- N = valor numérico do NDVI
- T = valor numérico da temperatura

O índice resultante varia continuamente entre 0 (totalmente inadequado) e 3 (alta aptidão).

Classificação Final do Índice de Elegibilidade

Para facilitar a interpretação e tomada de decisão, o índice foi classificado em quatro categorias de aptidão (Tabela 3):

Tabela 3: Classificação Final do Índice de Elegibilidade

Faixa de Índice	Classe de Aptidão	Descrição
2.5 – 3.0	Alta	Todos os critérios dentro dos limites ideais
1.8 – 2.4	Média	Um ou dois critérios fora dos limites ideais
1.0 – 1.7	Baixa	Três ou mais critérios fora dos limites ideais
< 1.0	Inadequada	Presença de restrições severas (gleissolos, declividade >25%, precipitação <600 mm, NDVI < 0.2)

4. Análise e Discussão dos Resultados

4.2 Áreas elegíveis e não elegíveis para o cultivo de espécie de *Eucalyptus grandis* na área em estudo

A análise visual do mapa indica que a maior parte da área encontra-se nas categorias de elegibilidade **baixa a média-baixa**, com destaque para amplas zonas nas porções leste e

central do território que apresentam coloração azul a verde claro, correspondendo a IEA inferiores a 1,5. Por outro lado, áreas com elevada elegibilidade, representadas pelas cores alaranjadas e vermelhas ($IEA > 2,5$), distribuem-se de forma esparsa e descontínua, com maior concentração na porção sudoeste, sul e em manchas isoladas ao norte do território. Zonas de elegibilidade média (1,5 a 2,49), representadas pela cor amarela, encontram-se distribuídas em faixas descontínuas principalmente nas transições de altitude moderada e áreas de solos bem drenados. Já as áreas classificadas como não elegíveis ($IEA < 0,5$), que estão representadas por tonalidades azul-escuras, concentram-se nas zonas de maior altitude e declividade acentuada, como observado na parte norte e noroeste do território, bem como ao longo de zonas de drenagem intensiva.

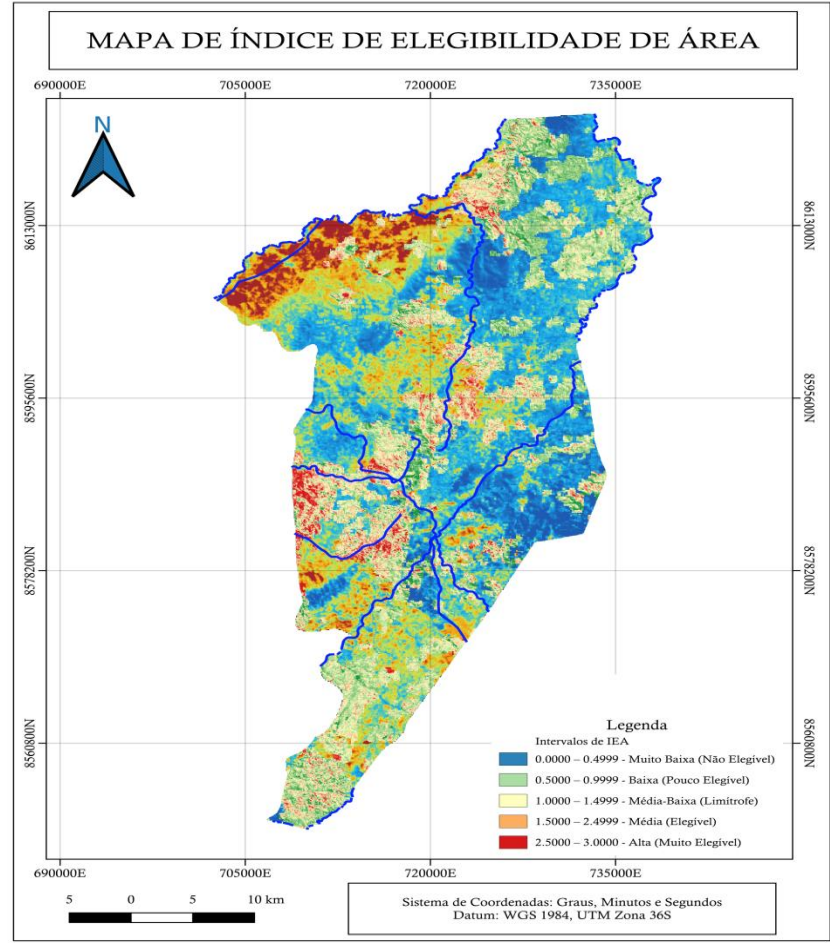


Figura 3: Mapa de Índice de Elegibilidade

Tabela 4: Síntese: Potencial de Zoneamento Agro-ecológico para *Eucalyptus* em Maniamba

Factor	Condição Observada		Adequação ao <i>Eucalyptus</i>
Tipo de Solo	Arenossolos, Latossolos	Cambissolos,	Boa a moderada — exige correcção em alguns casos
Declividade	Maioria < 12%		Alta adequação para manejo e plantio

		mecanizado
Precipitação	700 – 1.300 mm/ano	Boa (≥ 1000 mm ideal) – possíveis restrições locais
NDVI	Vegetação moderada a densa	Zonas com NDVI > 0.4 ideais para reflorestamento
Temperatura	18°C – 36°C	Boa – escolher espécies adaptadas ao calor excessivo

O índice de elegibilidade sintetiza a aptidão ambiental do território com base em parâmetros técnicos exigidos pelo cultivo de *Eucalyptus grandis*, *dunnii* e *E. urophylla* espécie reconhecida por sua alta adaptabilidade, mas que ainda assim apresenta exigências mínimas quanto à fertilidade do solo, regularidade hídrica e temperatura média anual.

As áreas com IEA elevado (acima de 2,5) concentram-se, principalmente, em regiões onde se verifica uma sinergia positiva entre os factores edafoclimáticos, nomeadamente solos bem estruturados, precipitações anuais regulares e temperaturas médias adequadas à fisiologia da espécie. A predominância dessas condições em pequenas porções evidencia a limitação da área em atender, de forma óptima, todas as exigências da cultura.

A maior extensão do território, classificada como pouco elegível ou não elegível, está fortemente associada à presença de solos com limitações físico-químicas, tais como baixa capacidade de retenção de água ou acidez elevada, bem como áreas com declividades superiores a 12%, que dificultam o manejo e aumentam os riscos de erosão. Ainda, certas zonas apresentam regimes hídricos e térmicos que, isoladamente, poderiam ser compatíveis com a espécie, mas que, ao serem ponderados em conjunto com os demais factores, reduzem a nota final de elegibilidade.

Os resultados do zoneamento agroecológico demonstram a eficácia do uso de ferramentas de geotecnologia, em especial dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), na selecção criteriosa de áreas para plantios florestais sustentáveis. O padrão espacial obtido corrobora estudos anteriores em contextos similares da região centro-norte de Moçambique, que indicam uma distribuição restrita de áreas com condições ideais para o cultivo de *Eucalyptus grandis*, *dunnii* e *E. urophylla*, sobretudo em regiões com acentuada variação topográfica e heterogeneidade edáfica.

Do ponto de vista prático, os resultados revelam a necessidade de estratégias de uso racional do solo. As áreas altamente elegíveis devem ser priorizadas para implantação de povoamentos comerciais, dada a maior eficiência produtiva e menor risco ambiental associado. Por outro lado, áreas com elegibilidade média podem ser exploradas mediante correcções edáficas e práticas de manejo adaptadas, como adubação localizada, escolha de clones mais tolerantes e construção de curvas de nível. As zonas classificadas como não elegíveis devem ser descartadas para esta finalidade, ou redireccionadas para outras funções, como conservação ambiental, ou agricultura de subsistência adaptada.

Em síntese, o mapa de IEA fornece um instrumento decisivo para a tomada de decisões sustentáveis e embasadas em critérios técnicos, evitando a expansão indiscriminada de monoculturas em áreas ecologicamente frágeis e potencializando o uso eficiente dos recursos naturais disponíveis. O uso de SIG neste processo representa um avanço metodológico para o planeamento agro-florestal no contexto rural de Maniamba, e pode ser replicado noutras regiões com desafios semelhantes.

4.3 Área por classes de elegibilidade para o cultivo de *Eucalyptus grandis*

A classe “Média (Elegível)” representa a maior parcela do território, com uma área de 33.610 hectares, correspondendo a 26,60% da área total. Em seguida, a classe “Média-Baixa (Limítrofe)” cobre 27.512 hectares (21,78%), e a classe “Alta (Muito Elegível)” abrange 23.504 hectares, o que representa 18,60% da superfície analisada. A classe “Baixa (Pouco Elegível)” ocupa 23.243 hectares (18,39%), enquanto a menor parcela corresponde à classe “Muito Baixa (Não Elegível)”, com uma área de 18.482 hectares, ou 14,63%.

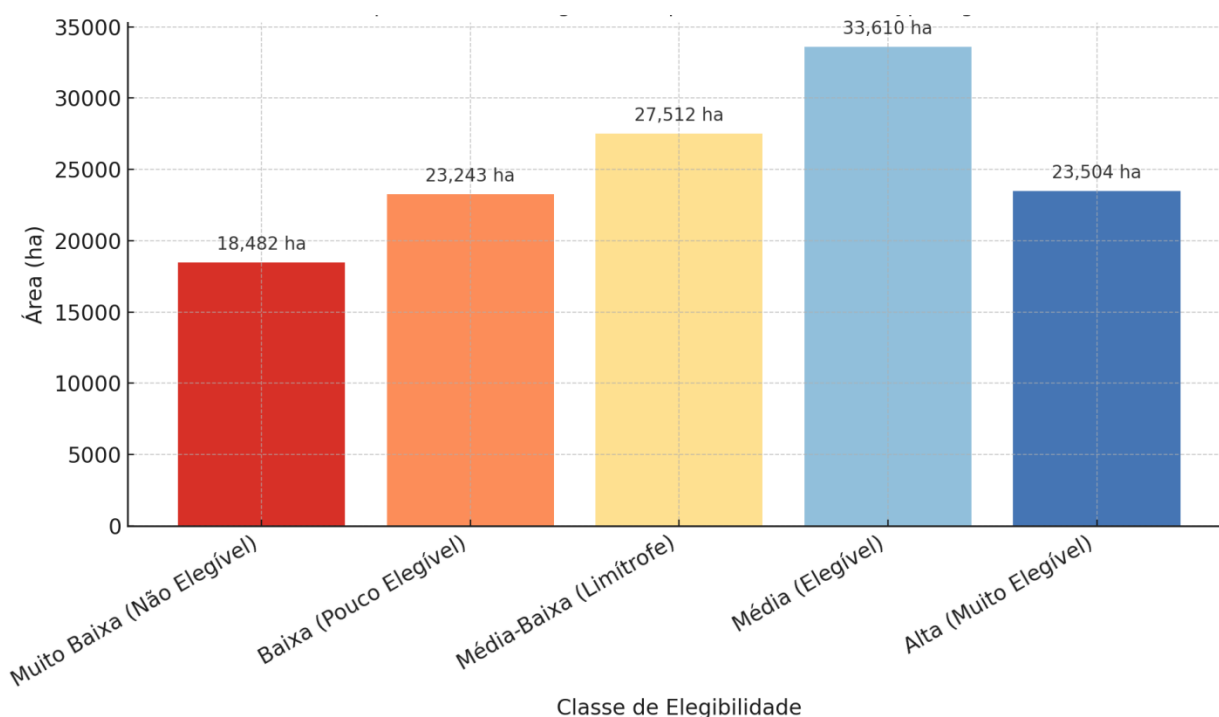


Figura 4: Área por classes de elegibilidade para o cultivo de *Eucalyptus grandis*

Os resultados demonstram uma distribuição relativamente equilibrada entre as diferentes classes de elegibilidade, com predominância das áreas de média e média-baixa aptidão. A presença de 33.610 hectares, classificados como “Média (Elegível)”, evidencia uma considerável extensão de áreas com condições ambientais e edáficas minimamente adequadas para o cultivo da espécie, considerando-se variáveis como precipitação, temperatura, tipo de solo, declividade e cobertura vegetal.

A classe “Alta (Muito Elegível)” representa um contingente importante de áreas com forte potencial produtivo, indicando locais onde os factores agro-ecológicos alinham de maneira

ideal para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus grandis*. Por outro lado, as classes “Baixa” e “Muito Baixa”, somando juntas 41.725 hectares, sinalizam áreas com limitações significativas ao cultivo, podendo demandar maiores investimentos em correcções de solo, manejo da paisagem ou mesmo serem descartadas para esse tipo de uso.

A análise revela que cerca de 45,2% da área total apresentam aptidão média a alta para o cultivo de *Eucalyptus grandis*, o que reforça a viabilidade do uso dessas espécies florestais na região de Maniamba, tanto para fins produtivos quanto para estratégias de restauração florestal e uso múltiplo sustentável. Essa proporção é significativa e pode contribuir para a dinamização económica local, sobretudo em iniciativas de reflorestamento comercial ou projectos de silvicultura comunitária.

As áreas com baixa ou nenhuma elegibilidade, por outro lado, impõem um desafio ao planeamento do uso da terra. Sua localização precisa, a ser avaliada em mapas geoespaciais, pode coincidir com zonas frágeis, como encostas íngremes, solos arenosos excessivamente drenados ou áreas com baixa pluviosidade. Tais condições limitantes destacam a importância do uso do SIG como ferramenta estratégica para tomada de decisões fundamentadas, permitindo seleccionar, com maior precisão, áreas onde os investimentos terão maior retorno e menor risco ambiental. O zoneamento produzido, portanto, representa uma base técnico-científica robusta para a gestão territorial e a implementação de políticas florestais e agro-ecológicas sustentáveis, alinhadas ao potencial da espécie estudada e às condições ambientais locais.

A presente pesquisa, ao analisar a elegibilidade ambiental para o cultivo de espécie florestal *Eucalyptus grandis* na região de Maniamba, em Moçambique, encontra respaldo metodológico e científico em estudos prévios realizados em contextos distintos, porém metodologicamente convergentes. Destacam-se, nesse sentido, as investigações de Falcão (2013), Guimarães (2012) e Arruda et al. (2022), que, embora inseridas em realidades territoriais e objectivos específicos distintos, adoptam fundamentos analíticos similares baseados em geotecnologias, análise espacial multicritério e o uso do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), configurando-se como referências relevantes para a validação e comparação dos resultados obtidos.

A pesquisa de Falcão (2013), intitulada *Avaliação dos Riscos de Degradação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão-PB)*, desenvolveu uma abordagem voltada à identificação de áreas susceptíveis à degradação ambiental por meio da ponderação de variáveis como declividade, tipo de solo, uso da terra, densidade de moradias e distância de corpos d'água. O autor empregou o método AHP e a técnica de combinação linear ponderada (WLC) para gerar um índice de risco espacialmente distribuído na bacia hidrográfica em estudo. Os resultados revelaram que as áreas de risco elevado estão fortemente associadas à combinação entre fragilidade edáfica, presença de moradias em encostas e uso inadequado do solo em regiões de alta declividade. A semelhança metodológica entre este estudo e a presente pesquisa é evidente, especialmente na estruturação dos critérios e na utilização das ferramentas de geoprocessamento como instrumentos para a construção de mapas temáticos. A razão dessa similaridade reside na eficácia reconhecida da metodologia multicritério quando aplicada à avaliação ambiental em territórios com elevada complexidade biofísica. No entanto,

há uma distinção importante quanto à finalidade: enquanto Falcão se concentra na identificação de riscos ambientais como subsídio à conservação, a presente pesquisa foca na delimitação de zonas com potencial produtivo, orientando o uso sustentável da terra para fins silviculturais.

Por sua vez, a pesquisa de Guimarães (2012), que teve por objectivo a análise dos riscos à degradação ambiental na bacia hidrográfica do açude Cachoeira dos Alves, localizada em Itaporanga-PB, também recorreu ao método AHP e ao uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para especializar áreas de vulnerabilidade. Com base na ponderação de cinco critérios — declividade, solo, cobertura vegetal, densidade populacional e proximidade de estradas —, o autor elaborou um modelo de risco que revelou a predominância de áreas classificadas como risco baixo a médio, embora com zonas críticas de alto risco nas margens do corpo hídrico principal. A convergência com a presente pesquisa dá-se não apenas pelo uso da mesma metodologia técnica, mas também pela estrutura de análise espacial integrada, reforçando a validade do processo decisório orientado por especialistas. A principal diferença, contudo, reside no contexto de aplicação: o estudo de Guimarães possui um enfoque diagnóstico de áreas já degradadas, visando a prevenção de impactos ambientais, enquanto o presente trabalho apresenta um viés preditivo e propositivo, voltado ao planejamento do uso da terra com fins produtivos, respeitando as limitações naturais do território.

Já o estudo desenvolvido por Arruda et al. (2022), intitulado *Identificação e Caracterização dos Riscos à Degradação Ambiental de Microbacias Hidrográficas em Assentamentos de Reforma Agrária por Meio de Técnicas de Geoprocessamento e da Análise Espacial Multicritério*, realizou uma investigação aplicada à microbacia da lagoa Vapabuçu, no contexto de assentamentos rurais no estado de Minas Gerais. A pesquisa mapeou diferentes tipos de uso e cobertura da terra, quantificou áreas com solos expostos e identificou zonas sob risco muito alto de degradação ambiental, especialmente nas porções mais declivosas e fragilizadas do território. O trabalho destacou a ausência de políticas públicas consistentes de assistência técnica e planejamento ecológico nos assentamentos, sugerindo a adoção de práticas agroecológicas como estratégia de recuperação ambiental. Os resultados de Arruda et al. convergem com os da presente investigação quanto à constatação de que factores como declividade, uso da terra e cobertura vegetal são determinantes na avaliação da aptidão ou da vulnerabilidade do território. Entretanto, divergem quanto ao enfoque: enquanto Arruda et al. partem de uma realidade já alterada e comprometida, propondo acções de recuperação ecológica em contextos de uso rural desordenado, esta pesquisa parte de uma análise preventiva e selectiva, cujo objectivo é antecipar impactos e orientar o plantio florestal em áreas ambientalmente compatíveis.

Em síntese, as três pesquisas comparadas compartilham fundamentos metodológicos sólidos e consistentes, alicerçados no uso de geotecnologias e em abordagens multicritério para o suporte ao planejamento ambiental. Embora direccionadas a diferentes finalidades — seja conservação, diagnóstico de degradação ou planejamento produtivo —, todas reforçam a importância da análise espacial integrada na compreensão da paisagem e na definição de estratégias de manejo sustentável. A razão das convergências observadas está na universalidade e adaptabilidade das ferramentas utilizadas, ao passo que as divergências

decorrem dos objectivos específicos, das variáveis contextuais e dos recortes geográficos adoptados por cada autor. Este diálogo entre pesquisas enriquece a presente investigação, conferindo-lhe maior fundamentação teórica e ampliando sua aplicabilidade prática na promoção de um uso racional e ambientalmente responsável do solo.

5. Conclusões

A presente investigação, centrada no mapeamento do uso e cobertura do solo, na caracterização dos factores agroecológicos e na delimitação de áreas elegíveis para o cultivo de *Eucalyptus grandis* no Posto Administrativo de Maniamba, revelou um cenário territorial marcado por uma complexa e rica combinação de atributos biofísicos, com implicações directas sobre o ordenamento do uso da terra e o desenvolvimento de sistemas florestais sustentáveis, com isso conclui-se:

O mapeamento do uso e cobertura do solo evidenciou a predominância da classe Cobertura de Árvores (33,76%), seguida pelas áreas agrícolas (23,56%) e vegetação densa (17,89%), compondo uma matriz paisagística onde se observa uma coexistência entre remanescentes naturais e usos antrópicos. Este padrão revela um território ainda relativamente bem conservado em termos de vegetação, mas simultaneamente pressionado por actividades agrícolas. A presença de solos expostos (7,80%) e construções (4,59%) denuncia focos de degradação e expansão urbana, que exigem atenção no contexto de políticas de uso do solo. O mapeamento permitiu não apenas identificar os principais vectores de uso e pressão sobre o território, mas também apontar zonas de potencial conflito e oportunidades para integração produtiva e conservação ambiental.

Quanto à caracterização dos factores agroecológicos — tipo de solo, precipitação, temperatura superficial, relevo e vegetação (NDVI) —, os resultados demonstram que Maniamba apresenta uma base ecológica diversa, mas em grande medida favorável ao uso agrícola e florestal. Os solos predominantes são arenosos (41,2%) e argilosos (33,2%), com significativa presença de latossolos (20,7%), o que indica boa drenagem e profundidade, porém baixa fertilidade natural — factor que exige práticas adequadas de correcção e manejo. O relevo caracteriza-se por ampla predominância de áreas planas e suavemente onduladas (82,8%), condição que favorece a mecanização e reduz riscos erosivos, ampliando a aptidão para uso produtivo.

A precipitação média anual varia amplamente, com destaque para os intervalos de 700 a 1500 mm, que juntos representam 55% da superfície analisada. Este regime hídrico é compatível com o cultivo de espécies como o *Eucalyptus grandis*, desde que as práticas de manejo considerem as zonas com menor pluviosidade. O índice NDVI revelou que mais de 97% do território possui cobertura vegetal — densa ou intermediária — evidenciando um sistema ecológico ainda funcional e propício à integração agroflorestal. Por fim, a variável temperatura mostrou que a maior parte da área apresenta temperaturas entre 28°C e 32°C, ideais para o crescimento de espécies tropicais, com excepção de zonas localizadas que ultrapassam os 34°C, associadas a áreas degradadas, ou de baixa cobertura vegetal. Esses dados atestam que o território possui um mosaico agroecológico, cuja análise integrada é imprescindível para o ordenamento racional da paisagem.

Em relação à identificação das áreas elegíveis e não elegíveis para o cultivo de espécies florestais do género *Eucalyptus*, a análise multicritério permitiu a produção de um índice de elegibilidade ambiental (IEA) altamente eficaz. Os resultados revelaram que 45,2% da área apresenta aptidão média a alta para o cultivo de *Eucalyptus grandis*, o que demonstra um potencial produtivo considerável. As áreas classificadas como muito elegíveis concentram-se em zonas onde a sinergia entre tipo de solo, clima e topografia favorece a silvicultura. Por outro lado, as zonas não elegíveis (14,63% da área) coincidem com regiões de elevada declividade, solos hidromórficos ou temperaturas excessivas, devendo, portanto, ser destinadas à conservação ambiental ou outros usos sustentáveis compatíveis com suas limitações ecológicas.

Em síntese, os resultados obtidos validam o uso de geotecnologias e análise espacial multicritério como ferramentas robustas para o planeamento agroecológico. O estudo demonstrou que, embora existam limitações naturais e riscos ambientais localizados, Maniamba apresenta elevado potencial para o cultivo florestal orientado, desde que se observe a adequação técnica das espécies, a sustentabilidade dos sistemas produtivos e a conservação da funcionalidade ecológica da paisagem.

6. Referências bibliográficas

- Andrade, L. M., Gomes, M. A. F., & Silva, A. M. (2019). *Uso e cobertura da terra na área de proteção ambiental dos mananciais do córrego Lajeado – Campo Grande/MS. Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(5), 1551–1565. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.5.p1551-1565>
- Arruda, S. F.; Pereira, A. M.; Oliveira, T. R., & Nascimento, J. L. (2022). *Identificação e caracterização dos riscos à degradação ambiental de microbacias hidrográficas em assentamentos de reforma agrária por meio de técnicas de geoprocessamento e da análise espacial multicritério. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 11(1), 88–107. <https://doi.org/10.5585/geas.v11i1.21589>
- Assad, E. D.; Pinto, H. S., & Zullo Junior, J. (2015). *Zoneamento agroclimático: princípios e aplicações*. Embrapa.
- Bila, A. (2018). *As plantações florestais em Moçambique: desafios e oportunidades*. Maputo, Moçambique: DNFFB.
- Bila, A. (2018). *Diagnóstico das plantações florestais em Moçambique: Desafios e Oportunidades*. Maputo, Moçambique: Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural (MITADER).
- Bila, A. (2018). *Componente: Cadeia de valor da madeira derivada de plantações florestais*. Pág. 05–12.
- Costa, L. A. da (2001). *Proposta de zoneamento de áreas rurais utilizando sistemas de informações geográficas*.
- Costa, M. A. (2001). *Avaliação de áreas para o uso agrícola com técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica*. Tese de Doutorado. Campinas, Brasil: Universidade Estadual de Campinas.
- Embrapa. (2011). *Manual de métodos de análise de solo* (2ª ed.). Cidade? País? Embrapa Solos.
- Falcão, D. M. (2013). *Avaliação dos Riscos de Degradação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão-PB)*. Dissertação de Mestrado. Cidade e país, Universidade Federal da Paraíba.
- Guimarães, C. L. (2012). *Análise multicritério na determinação dos riscos à degradação ambiental da bacia hidrográfica do açude Cachoeira dos Alves – Itaporanga/PB. Revista Brasileira de Geografia Física*, 5(5), 1101–1115.
- Matos, P. G. G.; Nhantumbo, I., & Cuambe, C. (2022). *Mapeamento e zoneamento florestal no norte de Moçambique: aptidão, uso da terra e conservação*. Maputo, Moçambique: Direção Nacional de Terras e Florestas (DNTF).

Nube, S. P.; Bila, A. D.; & Bambo, I. (2016). *Análise do potencial de terras para plantações florestais em Moçambique*. Maputo, Moçambique: Direcção Nacional de Terras e Florestas.

Oliveira, A. S.; Souza, B. M.; & Almeida, W. P. (2021). *Uso da temperatura superficial da terra em diagnósticos ambientais*. *Boletim de Geografia*, 39(3), 230–249.

Ribeiro, R. V.; Machado, E. C., & Oliveira, R. F. (2019). *Fisiologia da produção agrícola*. Cidade + país: Manole.

Ross, J. L. S. (1992). *Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais*. *Revista do Departamento de Geografia*, 6, 63–74.

Santos, M. G.; Silva, R. R., & Aragão, R. M. (2018). *Efeitos da temperatura na produtividade agrícola*. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 26(1), 1–10.

Santos, R. T., & Almeida, C. M. (2020). *Zoneamento agroecológico e políticas de desenvolvimento territorial sustentável em regiões florestais*. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 9(2), 45–63.

Silva, A. B., & Oliveira, P. R. (2018). *Aptidão edafoclimática e potencial de produção florestal do Eucalyptus grandis em regiões tropicais*. *Revista Árvore*, 42(3), 1–12. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000300001>

Souza, O. M. M. (2017). *Aptidão Agroclimática E Ambiental Do Eucalyptus Urophylla Para A Região Do Matopiba*.

Silva, J. R. F.; Almeida, R. D., & Lima, M. L. (2021). *Uso e cobertura do solo no planejamento ambiental*. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, 19(1), 129–148.

Sparovek, G.; Schnug, E., & Santos, R. F. (2010). *Sistemas de uso da terra e sustentabilidade*. Cidade + país: EdUSP.
