



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DIVISÃO DE AGRICULTURA

CURSO ENGENHARIA FLORESTAL

Projecto final

**Modelagem de distribuição potencial do Pau preto
(*Dalbergia melanoxylon*) em Moçambique**

Autor:

Abílio Rafael Mucavele

Tutor:

Prof. Dr. Luís Júnior Comissario Mandlate (Ph.D.)

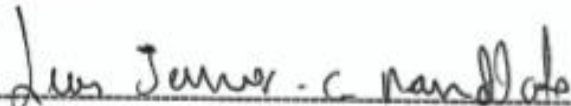
Lionde, Setembro de 2022




INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia de investigação sobre: **Modelagem de distribuição potencial do Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) em Moçambique**, apresentado ao curso de Engenharia Florestal na Faculdade de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Florestal.

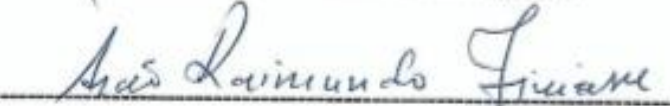
Tutor: Prof. Dr. Luis Júnior Comissario Mandlate (Ph.D.)



(Prof. Dr. Luis Júnior Comissario Mandlate (Ph.D.))



Prof. Dr. Mário Sebastião Tuzine (Ph.D.)



dr. Arão Raimundo Feniase (MSc)

Lionde, Setembro de 2022

INDICE

LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	iv
DECLARAÇÃO.....	v
DEDICATÓRIA.....	vi
AGRADECIMENTOS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUÇÃO.....	10
1.2. Problema e justificativa.....	12
1.3. Objectivos.....	14
1.3.1. Geral.....	14
1.3.2. Especifico.....	14
II. REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1. Nicho ecológico.....	15
2.2. Modelos de distribuição de Espécies (MDE) e o uso dos SIG na modelagem.....	15
2.2.1. Algoritmos usados para a modelagem.....	16
2.3. Avaliação e validação dos modelos.....	18
2.4. Limites de corte (Threshold).....	18
2.5. Pau-preto (<i>Dalbergia melanoxylon</i> -dendrologia da espécie).....	19
III. METODOLOGIA.....	20
3.1. Geografia.....	20
3.2. Clima.....	21
3.3. Solo.....	21
3.4. Vegetação.....	22
3.5. Aquisição de Dados.....	22
3.6. Preparação das variáveis.....	23
3.7. Processamento dos Dados.....	24
3.7.1. Validação dos modelos.....	24
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
V. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
VI. RECOMENDAÇÕES.....	31
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização geográfica de Moçambique (Fonte: CENACARTA).	20
Figura 2. Vegetação de Moçambique	22
Figura 3. AUC e taxa de omissão do Pau-preto (<i>Dalbergia melanoxylon</i>) para Moçambique	25
Figura 4. Distribuição potencial de Pau-preto (<i>Dalbergia melanoxylon</i>) para Moçambique	27
Figura 5. Áreas de Conservação e distribuição potencial Pau-preto (<i>Dalbergia melanoxylon</i>)	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Variáveis Ambientais bioclimáticas usadas para a modelagem.....	23
Tabela 2. Percentagem de contribuição individual das variáveis	26

LISTA DE ABREVIATURAS

IUCN- International Union for Conservation of Nature's

MDE- Modelos de distribuição de espécies

m- Metro

DAP- Diâmetro a altura do peito

DNFFB- Direção Nacional de Floresta e Fauna Bravia

Cm- Centímetros

GBIF (<http://www.gbif.org>) - Global Biodiversity Information Facility

(<http://www.worldclim.org/bioclim>)- Wordclim

°C- graus Celsos

mm- Milímetro

Km- Quilómetro

Km²- Quilómetro quadrado

%- Percentagem

ROC- Receiver Operating Characteristic

MAE- Ministério de administração Estatal

GLM - Generalized linear models

GARP- Genetic algorithm for rule-set production

GAM- Generalized additive models

'-Minutos

AUC/ ROC -Área Under the Receiver Operating Characteristic

CENACARTA – Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção



DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que este Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu tutor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, 20 de Setembro de 2022

Abílio Rafael Mucavele

(Abílio Rafael Mucavele)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais: Rafael Miguel Mucavele & Olívia Abílio Cossa Mucavele

Aos meus Irmãos: Narme Rafael Mucavele & Miguel Rafael Mucavele

Aos meus sobrinhos: Zaine Mucavele & Uriel Mucavele

=DEDICO=

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos são direccionados a Deus em primeiro lugar pelo dom da vida. Em segundo lugar a minha Família, Família Mucavele e Cossa pelo apoio incondicional no meu percurso académico em especial as irmãos Narme Rafael Mucavele e Miguel Rafael Mucavele, aos meus pais Rafael Miguel Mucavele e Olívia Abílio Cossa Mucavele e aos Meus tios Arlindo Abílio Cossa e Maria Abílio Cossa.

Ao meu tutor Prof. Dr. Luís Júnior Comissario Mandlate (Ph.D.) por ter tornado possível a materialização deste trabalho com a sua valiosa orientação até que se tornou realidade e aos docentes que me ensinaram e me guiaram durante o percurso académico em especial ao Engenheiro Emídio Matusse (MSc), Engenheiro Pedro Wate (MSc), Prof. Dr. Mário Tuzine (Ph.D.), dr. Sérgio Bila, Engenheiro Edson Massingue (MSc), Engenheiro Severino Macoo e dr. Arão Feniassse (MSc).

Aos meus colegas de turma de Engenharia florestal 2018 em especial a Félix Chauque, Bibi Mazuze, Artur José, Stela Mucavele, Zelia Banze, Adilson da Gilda, Odete Fernando, Yuran Coelho, Nelton Utui, Sheld Feliciano, Vicente Quitão pela amizade e apoio prestado durante o curso.

A Alice Fernando Nhamucho pelo companheirismo, apoio, incentivo e conselhos e pelo amor incondicional concedido durante o percurso e na realização do trabalho

Aos meus amigos membros do IRAVI (Instituto de Relações Amigáveis dos vizinhos) Dumakude, Engenheiro Alberto Siquela, Jonathan dos Ritos (que Deus o tenha), Jaroce Madjenje, Orcídio Mabunda, Wilson (que Deus o tenha), Anabela Malemia, Lurdes Cossa, Laila Raja, Ester Januário, Paulo Maxwell e aos membros de inventário de biomassa pela amizade e companheirismo durante o percurso.

Estes agradecimentos são extensivos a todos que directo ou indirectamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

=A todos citados e não citados o meu profundo agradecimento=

RESUMO

A modelagem de distribuição de espécies (MDE) é uma ferramenta importante para a conservação, e tem sido utilizado para responder varias questões ecológicas, tais como: predizer habitats prováveis para a ocorrência de espécies em via de extinção, amostragem de espécies raras, predizer efeitos das mudanças climáticas nas distribuições de espécies e predizer habitats adequados para a ocorrência de espécies invasoras. O presente trabalho teve como objectivo modelar a distribuição potencial do Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) em Moçambique. Os dados de ocorrência desta espécie foram obtidas na base de dados do Global *Biodiversity Information Facility*. Como variáveis ambientais foram usadas a temperatura e precipitação obtidas na *Worldclim*. Os modelos de distribuição de espécies (MDEs) foram produzidos utilizando o algoritmo de Máxima Entropia no *software* Maxent que necessita apenas de dados de presença. O desempenho do modelo de distribuição de Pau-preto foi satisfatório, com valores de $AUC \geq 0,7$. Considerando o conjunto das 6 variáveis bioclimáticas, o teste *Jackknife* indicou que a precipitação do mês mais quente foi a variável ambiental de maior importância relativa para a modelagem da distribuição de Pau-preto, com uma contribuição individual de 47.8% e uma importância de permutação de 46.7. O modelo gerado no presente trabalho, mostra que Pau-preto tem probabilidade de ocorrer em quase todo o território moçambicano, com maior destaque para as província de Sofala, Zambézia, Tete, Gaza e Maputo. No entanto, a sua probabilidade de ocorrência é baixa nas áreas de conservação, destacando-se numa parte do Parque Nacional de Limpopo, Parque Nacional de Gorongosa e na Reserva Florestal de Derre.

Palavras-chave: Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*), MDE, AUC, Maxent

ABSTRACT

Predictive Species Distribution Modeling (MDEs) is an important tool for conservation, and has been to answer several ecological questions, such as: predicting likely habitats for endangered species, pattern of rare species, predicting invasive of climate change on species distributions and predict habitat effects for species occurrence. The present work aimed to model the potential distribution of Blackwood (*Dalbergia melanoxylon*) in Mozambique. Occurrence data for this species were extracted from the Global Biodiversity Information Facility database. The environmental variables that were used are temperature and precipitation obtained from Worldclim. Species distribution models (MDEs) were produced using the Maximum Entropy algorithm in Maxent software, which only needs presence data. The performance of the Blackwood distribution model was satisfactory, with AUC values ≥ 0.7 . Considering the set of 6 bioclimatic variables, the *Jackknife* test indicated that the precipitation of the hottest month (BIO14) was the environmental variable of greatest relative importance for modeling the distribution of Blackwood, with an individual contribution of 47.8% and a permutation importance of 46.7. The model generated in the present work shows that Blackwood is likely to occur throughout Mozambican territory, with greater probability in Sofala, Zambézia, Tete, Gaza and Maputo provinces. However, its probability of occurrence is low in conservation areas, especially in part of the Limpopo National Park, Gorongosa National Park and the Derre Forest Reserve.

Keywords: Blackwood (*Dalbergia melanoxylon*), MDEs, AUC Maxent

I. INTRODUÇÃO

A modelagem da distribuição de espécies, tem se tornado um componente importante em planos de conservação e em estudos sobre a biogeografia, ecologia e evolução, impulsionada por uma grande quantidade de técnicas de modelagem desenvolvidas nos últimos anos (GUI SAN, 2005). Estudos sobre modelagem de distribuição de espécies (MDE), também conhecidos como modelos de nicho ecológico tem sido utilizado para responder várias questões ecológicas, como, para identificar áreas com uma alta riqueza em espécies, amostragem de espécies raras, predizer efeitos das mudanças climáticas nas distribuições de espécies e predizer habitats adequados para a ocorrência de espécies invasoras (KAMINO, 2009).

Esses modelos são desenvolvidos a partir da técnica que relaciona registros de ocorrência duma espécie (coordenadas geográficas) com conjunto de variáveis ambientais de modo a encontrar ambientes adequados onde uma população pode se manter viável (ANDERSON *et al.* 2003). A teoria do nicho ecológico é o principal fundamento para o desenvolvimento dos modelos de distribuição de espécies (PETERSON 2001).

O nicho ecológico é definido como o conjunto de condições e recursos necessários para que os indivíduos de uma espécie sejam capazes de sobreviver, crescer e reproduzir (JÚNIOR & SIQUEIRA 2009). O conhecimento dessas condições e recursos deve servir para predizer os locais de ocorrência de uma dada espécie (JUNIOR & SIQUEIRA 2009).

Moçambique é um país com uma grande diversidade de florestas naturais onde a biomassa florestal desempenha um importante papel para o país pela sua dimensão ambiental, social e económica (DNFFB, 2019). Grandes áreas de floresta vem se perdendo ao longo dos anos colocando em ameaça de extinção algumas espécies como o Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*).

O Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) é amplamente distribuída em Moçambique, ocorrendo como populações selvagens desde a província de Gaza, no sul, até a província de Cabo Delgado, no norte sendo mais abundante no norte, concretamente em Cabo Delgado (AFONSO, 2012). Esta espécie tem uma distribuição limitada, sofrendo ameaças de extinção em vários países incluído Moçambique (GONCALVES & UETIMANE, 2009).

Essa ameaça vem como resultado da perda e degradação de habitats naturais, tendo como causa: as condições de extrema pobreza em que vive a maior parte da população, associada à sua elevada dependência em relação à biodiversidade; sobre-exploração por ser uma espécie de alto valor comercial; poluição ou contaminação de habitats naturais ou espécies; e mudanças climáticas (MINISTÉRIO DA TERRA, 2015).

O Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) é uma espécie que pode ser encontrada em pelo menos 26 países da África, incluído, Moçambique, a espécie esta listada pela IUCN (1997) como ameaçada para países como Moçambique e vulnerável para países como Zâmbia (MARTIN, 2019). Para a conservação de uma espécie é importante o conhecimento da sua distribuição geográfica, assim como compreender as condições ecológicas que estão por de trás dessa distribuição (LOPE *et.al.* 2007). Estudos indicam que o Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) pode ocorrer em diferentes temperaturas sendo a sua temperatura média de 27°C, no entanto o seu desenvolvimento pode ser limitado por outros factores como o solo e a precipitação (LOPE *et.al.* 2007).

Para a modelagem de espécies, vários algoritmos têm sido utilizados para descrever a distribuição potencial de uma espécie, desde os mais simples (Distância Euclidiana, BIOCLIM), ajustes estatísticos (Modelos Lineares Generalizados – GLM, Modelos Aditivos Generalizados – GAM), até os algoritmos derivados de inteligência artificial e busca (Maxent, GARP, Redes Neurais) (PAGLIA *et al.* 2012).

Basicamente, estes algoritmos calculam a similaridade ambiental entre os locais de ocorrência conhecidos para a espécie e outras regiões ainda desconhecidas (PAGLIA *et al.* 2012). Os resultados produzem previsões probabilísticas de onde a espécie pode ou não ocorrer (ARAÚJO & GUIBAN 2006). Os locais de maior similaridade são considerados como áreas de alta probabilidade de ocorrência e representam a distribuição potencial da espécie em estudo (PAGLIA *et al.* 2012, ARAÚJO & GUIBAN 2006).

A detecção de ocorrência de novas populações a partir da modelagem implica um acréscimo na informação do nicho das espécies o que pode indicar fragmentos e repetição espacial destes (MIRANDA 2012). O presente trabalho tem como objectivo modelar a distribuição potencial do Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) em Moçambique e identificar quais as variáveis ambientais que mais influenciam para ocorrência desta espécie.

1.2. Problema e justificativa

A Estratégia Nacional e Plano de Acção da Diversidade Biológica de Moçambique (2015-2035), realça que as acções antropogénicas em Moçambique representam a principal ameaça à biodiversidade, porque mais de 90% da população Moçambicana depende directa ou indirectamente dos ecossistemas naturais para a sua subsistência (alimentação, saúde, habitação e energia) (MITADER, 2015).

Moçambique possui um potencial florestal importante, estima-se que, em 1980, a área ocupada por florestas era de cerca de 57.000.000 de hectares, dos quais 36% tinham potencial para a indústria madeireira, sendo as principais espécies de árvores nativas: chanfuta, panga-panga, pau-rosa, pau-preto, umbila e jambirre e as principais florestas localizam-se nas regiões centro e norte, englobando as províncias de Manica, Sofala, Zambézia, Nampula e Cabo Delgado (MUHACHA, 2021).

Ameaças como a conversão, perda, degradação e fragmentação de habitats naturais, sobre-exploração de espécies, invasão de espécies exóticas que danificam ecossistemas e deslocam espécies nativa e alterações climáticas representam um risco para a biodiversidade de Moçambique (MITADER, 2015). Dados apresentados por STEIERER (2011), mostram que em 2010 foram explorados cerca de 11.203.998 m³ de lenha para a produção de carvão, contrariando, o corte anual admissível (CAA) das florestas moçambicanas que é estimado em 2.309.300 m³ (MARZOLI, 2007).

O Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) é uma espécie preciosa muito usado na indústria de escultura em madeira para fazer objectos de arte, bem como para fazer instrumentos musicais, é também usado na medicina, construção. A maioria da população nortenha de Moçambique concretamente em Cabo Delgado usam a espécie de pau-preto para construção e para fazer obras de artes que lhes garante o seu sustento.

Essas acções atropicas resultam em altos níveis de exploração dessa espécie e consequentemente de indivíduos Adultos, causando assim a erosão genética da das suas populações (MARTIN, 2019). Em Moçambique, apesar da legislação florestal proibir o corte do pau-preto para efeito de energia, para produção de mobiliário, materiais de construção, esta é explorada para produção de escultura, instrumentos musicais (BUNSTER, 2006), e esta listada pela IUCN (1997) como ameaçada (MARTIN, 2019).

O uso dos modelos de nicho ecológico podem ser aplicados para a detecção de novos locais onde a espécie pode ocorrer em Moçambique e ajudar na tomada de medidas para a sua conservação, pós a erosão genética das suas populações ou extinção dessa espécie poderá prejudicar a renda das pessoas que dependem da espécie para o seu sustento. .

1.3. Objectivos

1.3.1. Geral

- Modelar a distribuição potencial do Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) em Moçambique

1.3.2. Especifico

- Identificar as variáveis ambientais que mais influenciam a distribuição do Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) em Moçambique.
- Gerar mapas de predição da distribuição geográfica do Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) em Moçambique

II. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Nicho ecológico

O habitat é definido como sendo o local onde um determinado animal vive e que lhe oferece condições e recursos necessários para que este se estabeleça (JOHNSON 1980). O nicho ecológico é definido como o conjunto de condições e recursos necessários para que os indivíduos de uma espécie sejam capazes de sobreviver, crescer e reproduzir (JÚNIOR & SIQUEIRA 2009).

Deste modo, o conhecimento dessas condições e recursos deve servir para prever os locais de ocorrência da espécie (JÚNIOR & SIQUEIRA 2009). HUTCHINSON (1957), que o modelou como um hiper-volume n-dimensional onde cada dimensão representa o intervalo de condições ambientais ou de recursos necessários para a espécie (IWASHITA, 2007).

Para fins de modelagem da distribuição de espécies destaca-se a diferença entre nicho fundamental e o nicho realizado, onde nicho fundamental de espécies engloba os intervalos das condições ambientais fundamentais para a ocorrência e existência da espécie sem tomar em conta a influência de competição interespecífica e o nicho realizado descreve a parte do nicho fundamental onde realmente a espécie ocorre, contudo o nicho fundamental é sempre maior que o nicho realizado (IWASHITA, 2007).

2.2. Modelos de distribuição de Espécies (MDE) e o uso dos SIG na modelagem

A MDE combina pontos de presença de espécies com variáveis ambientais/ecológicas, por exemplo temperatura, precipitação, altitude e índices de vegetação de modo a identificar ambientes adequados, onde supostamente uma população possa ocorrer. Os pontos de presença são coordenados georreferenciadas que situam a localidade onde um espécime foi registrado (GUISAN & ZIMMERMAN, 2000). No caso das plantas, os dados de presença são compilados a fichas de exsiccatas, de revisões taxonômicas, de levantamentos florísticos e estudos fitossociológicos (KAMINO, 2009).

2.2.1. Algoritmos usados para a modelagem

Vários algoritmos têm sido utilizados para descrever a distribuição potencial de uma espécie, desde os mais simples (Distância Euclidiana, BIOCLIM), ajustes estatísticos (Modelos Lineares Generalizados – GLM, Modelos Aditivos Generalizados – GAM), até os algoritmos derivados de inteligência artificial e busca (Maxent, GARP, Redes Neurais). (PAGLIA *et al.* 2012).

Segundo LIU & NEWELL (2011) e ELITH *et al.* (2006) os algoritmos usados para a modelagem podem ser classificados de acordo com os tipos de dados utilizados, realçam também que muitos algoritmos usados para a modelagem consideram somente os dados de presença da espécie para obter o modelo, mas existem também os que usam os dados de presença e dados de background.

2.2.1.1. Bioclim

O método de modelagem de Bioclimatic Envelope (BIOCLIM) prevê as condições adequadas de um envelope climático constituído por uma região retilínea no espaço ambiental representando o intervalo de presença observado em cada dimensão ambiental (ANDERSON *et al.* 2003).

2.2.1.2. Domain

O método de Modelagem de DOMAIN utiliza uma similaridade métrica, onde um índice de adequação predito é dado pelo cálculo da distância mínima no espaço ambiental para qualquer registro de presença (CARPENTER *et al.* 1993).

2.2.1.3. Glm e Gam

Os métodos estatísticos GLM e GAM são comumente usados para modelagem com conjunto de dados de ausência e presença, e também são aplicados para situações com dados de presença apenas (CARPENTER *et al.* 1993).

2.2.1.4. Garp

O GARP usa uma estrutura de inteligência artificial chamada algoritmo genético, onde este é baseado na definição de limites relacionados a variáveis ambientais através de regras para seleção, evolução, teste, incorporação ou rejeição a fim de produzir um conjunto de regras que caracterize os requisitos ecológicos da espécie. As regras são favorecidas no algoritmo de acordo

com a sua significância, em comparação com a previsão aleatória com base em uma amostra de pontos de background e os pontos de presença (ANDERSON *et al.* 2003).

2.2.1.5. *Maxent*

Maxent é um método utilizado para modelar a distribuição geográfica potencial de espécies e que tem mostrado eficiência comparado com outros métodos. Este programa baseia-se no princípio da máxima entropia para fazer as previsões tendo em conta de informações incompletas (PHILLIPS, 2006). Ao estimar a distribuição de uma certa espécie, Maxent preconiza o princípio de que a distribuição a ser estimada devera concordar com tudo que se conhece (ou inferido a partir das condições ambientais nas localidades de ocorrência), mas que devera também evitar quaisquer restrições infundadas (PHILLIPS, 2006).

O Maxent usa somente dados de presença e computa a distribuição probabilística sobre as variáveis ambientais da área de estudo, onde para cada pixel, o Maxent indica um valor numérico que varia de 0-1, melhor definido como adequabilidade ambiental e não como probabilidade de ocorrência (PETERSON, 2003). Estudos anteriores que compararam diferentes métodos de modelagem que usam apenas informações de presença (Bioclim, Domain, GARP e Maxent) produziram diferentes previsões, com Maxent tendo alto desempenho em comparação com outros métodos (ELITH *et al.*, 2006).

Basicamente, os algoritmos acima mencionados calculam a similaridade ambiental entre os locais de ocorrência conhecidos para a espécie e outras regiões ainda desconhecidas (PAGLIA *et al.* 2012). Os resultados produzem previsões probabilísticas de onde a espécie pode ou não ocorrer (ARAÚJO & GUIBAN 2006). Os locais de maior similaridade são considerados como áreas de alta probabilidade de ocorrência e representam a distribuição potencial da espécie em estudo (PAGLIA *et al.* 2012, e ARAÚJO & GUIBAN 2006).

ANDERSON *et al.*, (2003) realçam que os modelos de nicho advém das projeções no espaço geográfico de mapas de adequabilidade ambiental, por sua vez autores como JOSÉ (2014), designa isso como Biogeografia e diz que a teoria sobre a Biogeografia e a ecologia identificam características da espécie e os dados ambientais que são necessários para ajustar um modelo de distribuição de espécies e usa-los na produção de um mapa de ocorrência de espécies.

2.3. Avaliação e validação dos modelos

Para a avaliação e validação dos modelos existem três pilares de modelos matemáticos aplicados à ecologia a saber: generalidade, realidade e precisão (GUISAN & ZIMMERMAN, 2000). Contudo, todos os estudos que envolvem os modelos de distribuição de espécies contem três componentes fundamentais que são um conjunto de dados descrevendo a abundância de espécies e outro conjunto contendo as variáveis explicativas, um modelo matemático que relaciona a espécie com a variável explicativa e a avaliação da utilidade do modelo através de validação (GUISAN & ZIMMERMAN, 2000).

2.4. Limites de corte (Threshold)

Para validar e interpretar um modelo, é recomendado a definição de um limite de corte (*Threshold*) para diferenciar áreas ambientalmente adequadas e inadequadas para um determinado táxon, onde o modelo, atribui para cada pixel valores que correspondem uma adequabilidade ambiental para um *táxon*. Contudo, os pixels que apresentam valores acima do limite de corte são considerados como possíveis áreas de presença (KAMINO, 2009). Existem vários métodos para a escolha de um valor de limite de corte, e muitos dependem de dados de ausência para fazer a comparação entre cálculos das ausências observadas e previstas e das ausências observadas não previstas (KAMINO, 2009).

O primeiro método, denominado como o Limite da Menor Presença (*lowest presence threshold - LPT*), identifica e selecciona o menor valor de adequabilidade ambiental atribuído pelo modelo a um ponto de presença do conjunto treino (PHILLIPS, 2006) mantendo o erro de omissão zero em relação ao grupo de treino. O segundo método, (*T10*) aplica um limite fixo que aceita 10% de taxa de omissão dos pontos de presença, contudo, entende-se que o primeiro método é o mais inclusivo, por incorporar uma área maior predita como presença em relação ao segundo (PHILLIPS, 2006).

2.5. Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*-dendrologia da espécie)

O Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) é uma espécie caducifólia da família *Fabaceae* que é comum na África Subsaariana. A árvore é capaz de atingir 4 a 8 m de altura, raramente atinge alturas como 19 a 20 m, as árvores velhas podem apresentar 1 m de diâmetro a altura do peito, embora poucas árvores tenham um DAP acima de 50 cm actualmente (PRIMACK, 2001).

A espécie ocorre em uma ampla gama de habitats florestais e em diferentes tipos de solos solos (BRYCE, 1967). O Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) precisa de luz e uma boa humidade durante o verão sendo que a espécie cresce melhor em áreas com precipitação anual que encontra-se entre 700 a 1200 mm e a temperatura média mínima de 18°C e a máxima de 35°C, contudo a espécie não se regenera sob cobertura elevada e é sensível ao fogo nos seus estágios iniciais (BRYCE, 1967).

De acordo com LOCK, (1989), as populações de Pau-preto podem ser encontrados em Angola; Botswana; Burkina Faso; República Centro-Africana; Chade; Costa do Marfim; República Democrática do Congo; Etiópia; Quênia; Malawi; Moçambique; Nigéria; Senegal; África do Sul; Tanzânia; Uganda; Zimbábue; Benin; Camarões; Eritreia; Gana; Guiné; Mali; Togo e Zâmbia..

Em Moçambique o Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) é amplamente distribuída, ocorrendo como populações selvagens desde a província de Gaza, no sul, até a província de Cabo Delgado, no norte, na fronteira com a Tanzânia (AFONSO, 2012), é mais abundante no norte, concretamente em Cabo Delgado, no entanto, acredita-se que haja outras populações na província de Niassa (AFONSO, 2012).

III. METODOLOGIA

3.1. Geografia

Moçambique situa-se na faixa sul-oriental do Continente Africano, entre os paralelos 10°/27' e 26°/52' de latitude Sul e entre os meridianos 30°/12' e 40°/51' longitude Este. Ao Norte limita com a Tanzânia, ao Oeste com o Malawi, Zâmbia, Zimbabwe e Swazilândia, ao Sul com a África do Sul e em toda a faixa Este é banhada pelo Oceano Índico numa extensão de 2,470 km, a superfície do território Moçambicano é de 799,380 km² (MAE, 2007).

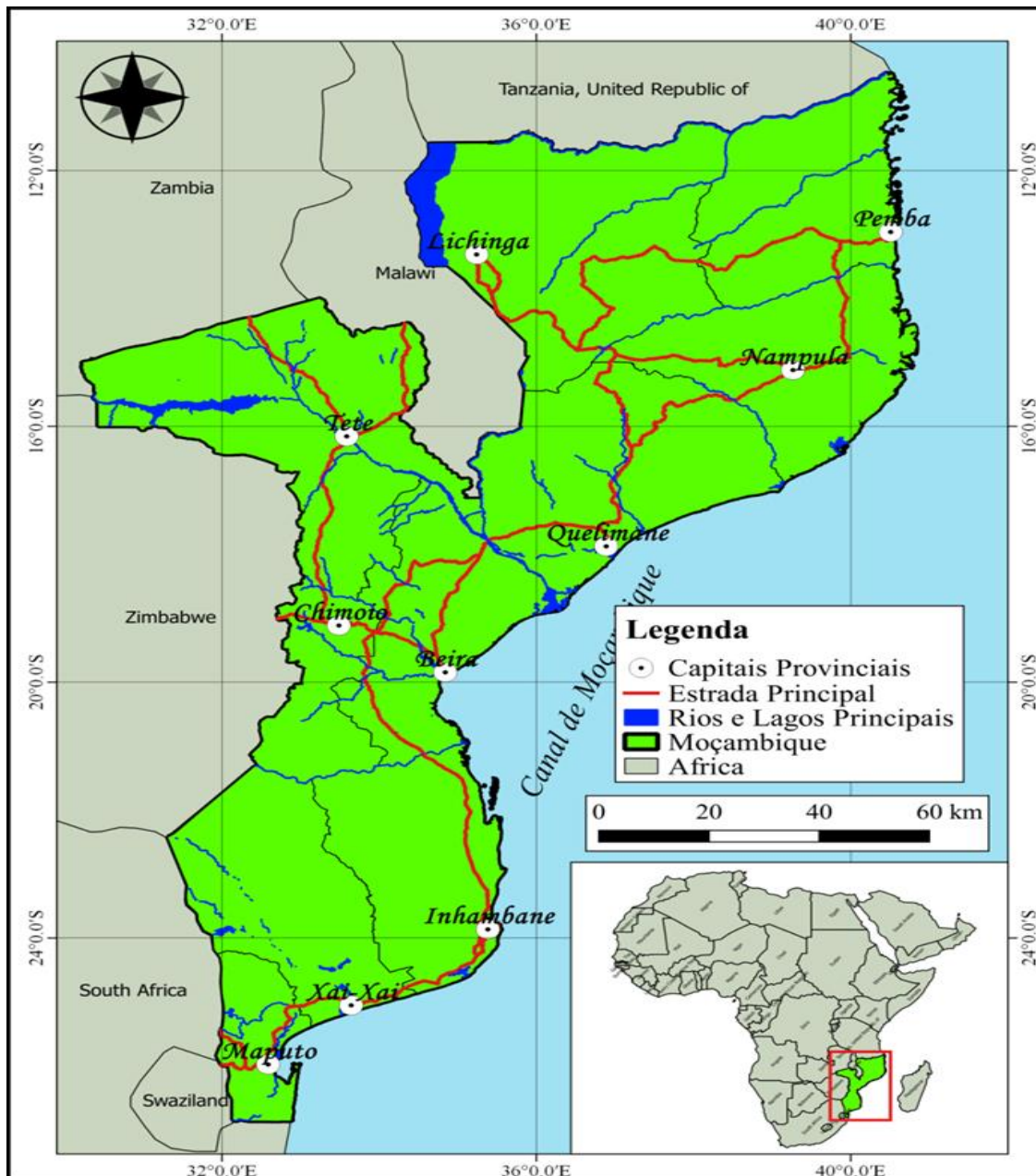


Figura 1. Mapa de localização geográfica de Moçambique (Fonte: CENACARTA).

O país está dividido em 10 Províncias, nomeadamente ao Norte, Niassa, Cabo Delgado e Nampula, ao Centro, Tete, Zambézia, Manica e Sofala, ao Sul, Inhambane, Gaza, Maputo. O território moçambicano, não apresenta grande variedade de paisagem porem, da costa para o interior podem-se distinguir três tipos de relevos: Planície litoral que ocupa grande parte do território (40 %). Esta é a região natural onde se observa a maior concentração da população, planaltos com altitudes que variam entre 200 e 1,000 metros, grandes planaltos e montanhas que ocupam uma pequena parte do território nacional, com altitudes superiores a 1,000 metros (MAE, 2007).

3.2.Clima

Em Moçambique o clima predominante é tropical, dividindo se em: clima tropical semiárido-que ocorre no interior de Gaza na cadeia entre Pafure, Chicualacuala e Massingir apresentando temperatura media anual superior a 26°C e a precipitação media anual é inferior a 400mm na zona mais árida, clima tropical de altitude-ocorre nas regiões planálticas e montanhosas, as temperaturas medias anuais são inferiores a 22°C e a precipitação é superior a 1400mm por ano, clima tropical húmido-ocorre na região centro e norte do pais e no litoral sul e é caracterizado por temperaturas medias anuais que variam de 24-26°C e uma precipitação media anual que varia de 1000-2000mm e clima tropical seco que ocorre no interior da província de Maputo, Gaza, Inhambane, norte de Manica e sul de Tete, sendo que apresenta uma temperatura media anual superior a 26°C (MAE, 2007).

3.3.Solo

Os solos predominantes em Moçambique variam de região para região, sendo que na região norte predominam os solos francos argilosos avermelhados e castanhos profundos, onde os francos argilosos vermelhos ocupam a maior área da região e são vulneráveis a erosão, os franco argilosos vermelhos e castanhos profundos são permeáveis e com boa drenagem e resistência a erosão. Na zona litoral da região norte predomina o fanerozóico que provoca a alteração nos solos onde os mais dominantes são os arenosos de dunas costeiras e fluviais. Na região centro predominam solos francos argilosos arenosos avermelhados sendo que no sul de tete predominam solos francos argilosos acastanhados e na região sul predominam solos arenosos de baixa fertilidade com baixa retenção das águas misturadas com solos arenosos brancos fluviais e marinhas (MAE, 2007).

3.4. Vegetação

Em termos de formações vegetais ou tipos de vegetação, destacam -se Oito que foram descritos e mapeados para Moçambique (MICOA, 2009). A Floresta de Miombo que é a mais difundida, dominando no norte e centro do país, seguida por Floresta de Mopane que ocorre nas partes do sul e do norte do país (MICOA, 2009) . O terceiro tipo de vegetação mais difundido é a Floresta indiferenciada, que abrange extensas partes do sul, centro e partes do norte do país (MICOA, 2009). Os tipos de vegetação remanescentes incluem Elementos Afromontane, Mosaicos litorais, Vegetação Holofítica, Vegetação Indiferenciada e Vegetação de Pântano (MICOA, 2009), conforme ilustra a figura abaixo.

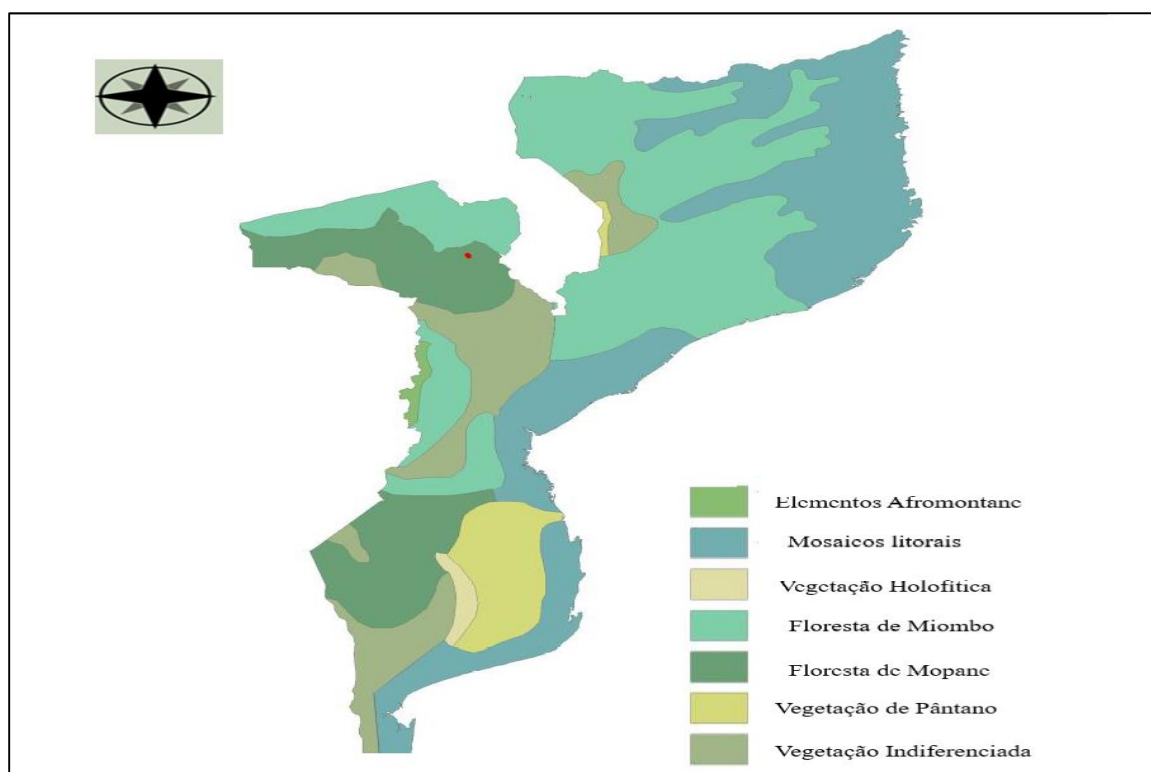


Figura 2. Vegetação de Moçambique . Fonte: MICOA(2009)

3.5. Aquisição de Dados

i) Levantamentos dos dados de ocorrência

Os dados da ocorrência de Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) em Moçambique foram obtidos através de uma pesquisa realizada na base de dados do *Global Biodiversity Information Facility-GBIF* (<http://www.gbif.org>). No total foram baixadas cerca de 87 dados de ocorrência de Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) que se encontram disponíveis para Moçambique.

ii) Variáveis ambientais

As variáveis usadas para a modelagem foram climáticas (temperatura e precipitação) que foram extraídas do banco de dados do Worldclim (<http://www.worldclim.org/bioclim>), com uma resolução espacial de 30" de aproximadamente 1km, nomeadamente: temperatura anual média, temperatura máxima do mês mais quente, temperatura mínima do mês mais frio, precipitação anual média, precipitação do mês mais quente, e precipitação do mês mais frio (Tabela1). Todas as variáveis baixadas estavam no formato raster e foram posteriormente importadas para QGIS 2.18 e previamente recortadas para o Moçambique usando a extensão *clip*.

Tabela 1. Variáveis ambientais climáticas usadas para a modelagem

Variáveis climáticas	Código	Fonte	Tipo de variável
Temperatura anual media	BIO1	Worldclim	Contínuo
Temperatura máxima do mês mais quente	BIO5	Worldclim	Contínuo
Temperatura mínima do mês mais frio	BIO6	Worldclim	Contínuo
Precipitação anual media	BIO12	Worldclim	Contínuo
Precipitação do mês mais frio	BIO13	Worldclim	Contínuo
Precipitação do mês mais quente	BIO14	Worldclim	Contínuo

3.6.Preparação das variáveis

Cada variável ambiental usada na modelagem estava no formato raster e foi recortada para mapa de Moçambique, alterado o tamanho do seu Pixel para 90m x 90m usando a extensão *Data Management Tool–Resample* no QGIS 2.18 usando o método bilinear. Isso foi feito para desenvolver camadas de dados de escala uniforme com base na escala mais precisa que facilitou o recorte das variáveis para Mapa de Moçambique.

O software livre Maxent (PHILLIPS, 2006) foi usado para criar modelos de distribuição. Para a modelagem neste software, as camadas de dados ambientais foram convertidas do formato raster para o formato ASCII e as localizações dos pontos no formato de arquivo CSV. Os dados de entrada (variáveis preditores e dados de localização do pau-preto) foram georreferenciados para o mesmo sistema de coordenadas no QGIS 2.18.

3.7.Processamento dos Dados

i) Produção dos modelos

Os modelos de distribuição de espécies (MDEs) foram produzidos utilizando o programa Maxent (Maximum Entropy) (PHILLIPS, 2006). O algoritmo de Máxima Entropia, necessita apenas dos dados de presença (utilizado 75% dos dados de ocorrência para o treino e 25% deles para o teste). O modelo gerado pelo Maxent para uma dada espécie é uma superfície contínua de valores compreendidos entre 0 e 100, onde altos valores indicam uma maior probabilidade de encontrá-la (GUISAN & ZIMMERMAN, 2000). Foi selecionado um limite de corte que possibilitará distinguir áreas ambientalmente “adequadas” e “inadequadas” para a espécie em estudo.

3.7.1. Validação dos modelos

A validação do desempenho satisfatório do modelo foi feita usando a área sob característica do operador receptor (Área Under the Receiver Operating Characteristic-AUC/ROC curve), que é considerado um indicador efetivo do modelo. Os valores de AUC variam de 0 a 1, sendo que área com valor igual a 1 representa o modelo ideal, uma área de 0,5 indica uma seleção de modelo selecionado ao acaso, e valor abaixo de 0,5 indica um modelo não satisfatório (MANEL, WILLIAMS, & ORMEROD, 2001). Além da AUC, foi realizado um teste *Jackknife* de variáveis para o modelo desenvolvido a fim de avaliar o poder explicativo de cada variável individual.

Após a elaboração dos modelos, no programa Maxent, o modelo foi importado para o QGIS 2.18, onde, utilizou-se a ferramenta georreferenciador, para georreferenciar o modelo produzido. Posteriormente, o modelo foi importado para o QGIS 2.18, e reclassificado em 4 escalas nomeadamente: 0-0,25 (potencial baixo); 0,25-0,5 (potencial moderado); 0,5-0,75 (potencial bom; e >0,75 (potencial alto). Finalmente, sobre o mapa final de distribuição foi sobreposto o mapa das áreas de conservação a fim de verificar se a espécie em estudo tem probabilidade de ocorrer dentro das áreas de conservação ou não.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho do modelo de distribuição de Pau-preto obteve um $AUC > 0,7$, esse valor sugere um desempenho “excelente” (HOSMER & LEMESHOW, 2000) do modelo para discriminar entre locais de presença comparativamente aos de ausência da espécie na área de estudo (figura 3 e 4).

Considerando o conjunto das 6 variáveis bioclimáticas, mais independentes e com maior poder de contribuição para a distribuição da espécie, o teste *Jackknife* indicou que a precipitação do mês mais quente (BIO14), foi a variável ambiental de maior importância relativa para a distribuição do Pau-preto onde se apresentou com uma contribuição individual de 47.8% e uma importância de permutação de 46.7, por sua vez, a variável que menos contribuiu na modelagem dessa espécie, foi a temperatura mínima do mês mais frio (BIO6) com uma contribuição de 5.7% (Tabela 2).

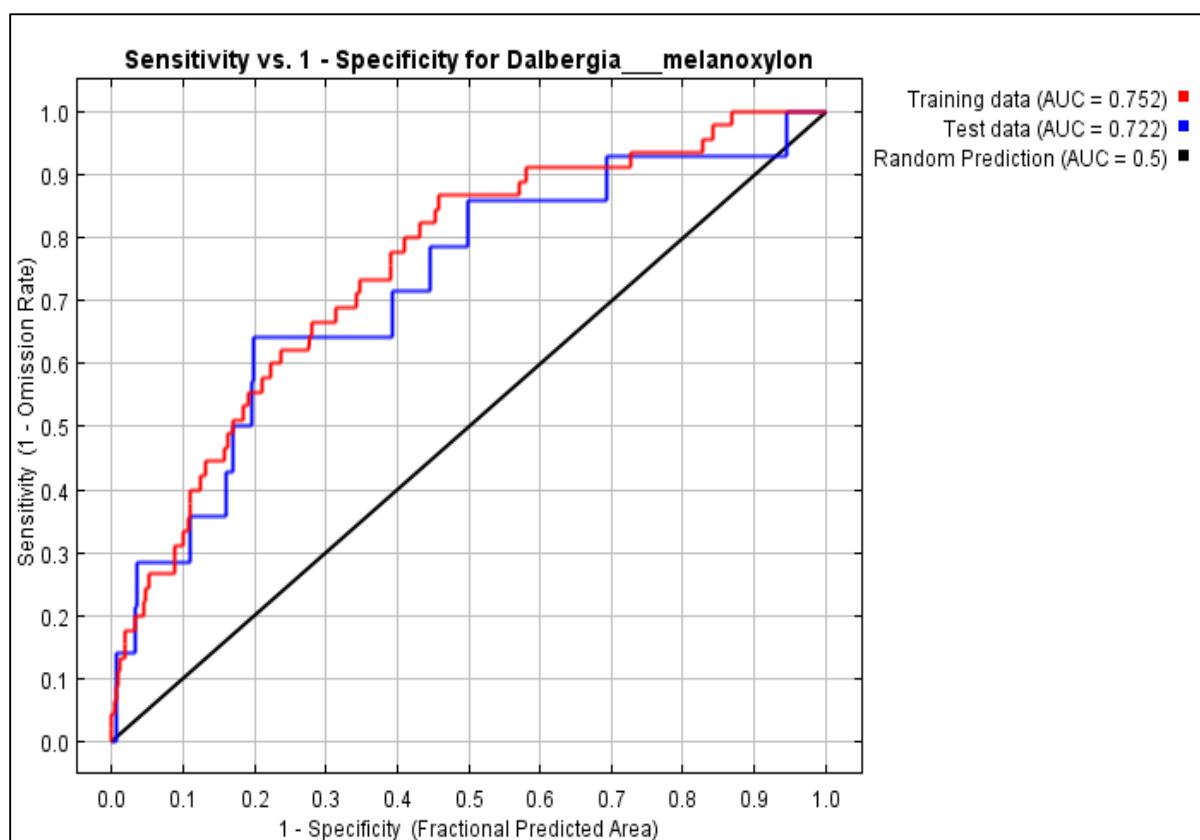


Figura 3. AUC/ROC do *Pau-preto* (*Dalbergia melanoxyton*) para Moçambique

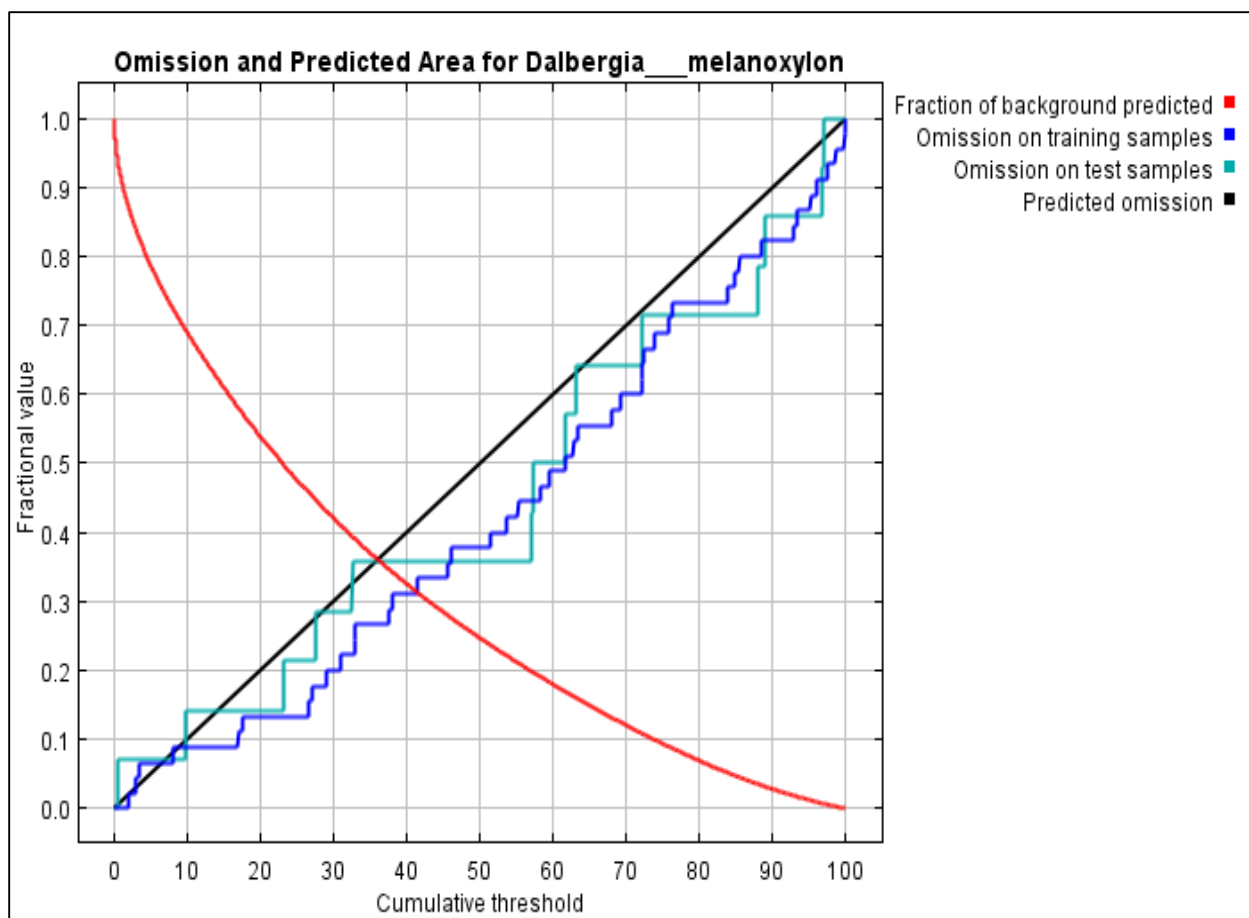


Figura 4. Taxa de omissão do Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) para Moçambique

Tabela 2. Percentagem de contribuição individual das variáveis

Variáveis climáticas	Código	Contribuição perceptual	Importância de permutação
Precipitação do mês mais quente	BIO14	47.8	46.7
Precipitação do mês mais frio	BIO13	12.4	11.9
Temperatura máxima do mês mais quente	BIO5	12.1	3.5
Precipitação anual média	BIO12	11.5	13.7
Temperatura anual média	BIO1	10.5	12
Temperatura mínima do mês mais frio	BIO6	5.7	12.2

O modelo de distribuição revelou que existe uma escala de probabilidade de ocorrência para o Pau-preto de zero (ausência) a 1,00 (presença) para Moçambique. Também, delineou áreas de diferentes potenciais de ocorrência, sugerindo outras áreas geográficas, além daquelas que actualmente tem registros de presença da espécie.

Destacando as áreas de alto potencial de ocorrência sendo de 0-0.25 potencial baixo, 0.25-0.5 potencial moderado, 0.5-0.75 potencial bom e > 0.75 potencial alto de ocorrência. O modelo mostra que o Pau-preto tem probabilidade de ocorrer em todo o território moçambicano, sendo que o potencial alto encontra-se mais concertada nas províncias de Sofala, Zambézia, Tete, Gaza e Maputo, conforme mostra a figura5 abaixo.

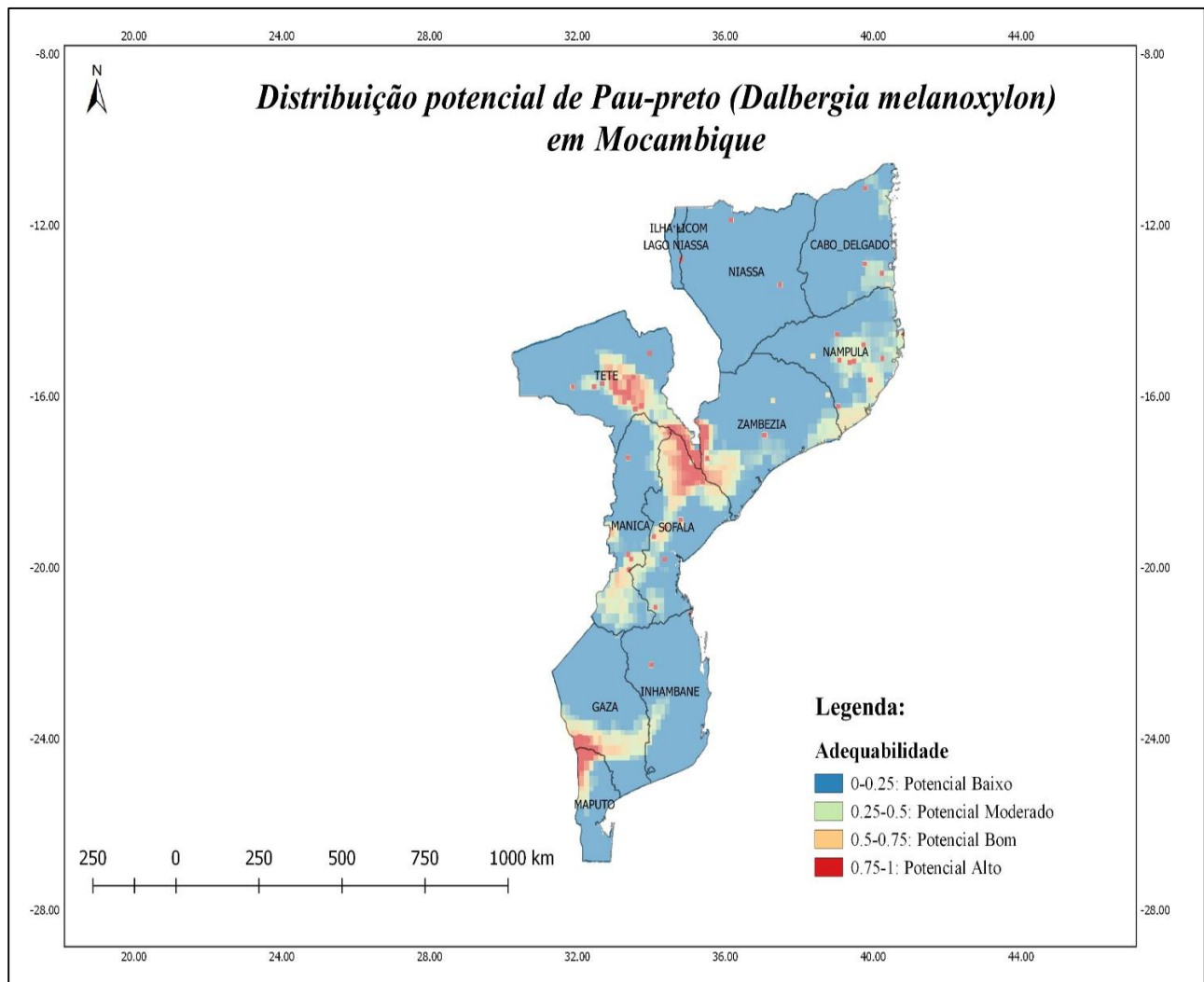


Figura 5. Distribuição potencial de Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) para Moçambique

De acordo com Figura5, pode observar -se que a espécie ocorre em locais com uma precipitação média que varia de 500 a 1000 mm e temperatura média que variam de 22° a 30°C (MAE, 2007), locais esses que mostram- se ser adequados para sua ocorrência, visto que a Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) necessita de luz e cresce melhor em áreas com precipitação anuais que encontra-se entre 700 a 1200 mm e a temperatura média mínima de 18°C e a máxima de 35°C (BRYCE, 1967).

Grande parte da área prevista como sendo potencialmente adequada para a ocorrência de Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) (centro e sul), não coincide com as áreas onde actualmente encontra-se em abundância, ou seja, no norte de Moçambique concretamente em Cabo Delgado (AFONSO, 2012).

Segundo referido por ELITH, *et al.* (2006) e WINTLE *et al.* (2005), os modelos preditivos que precisam apenas de dados de presença como o Maxent, podem não ser adequados para prever probabilidades com exactidão, uma vez que não incorporam com viabilidade a informação relativa à prevalência (frequência de ocorrências) da espécie na área de estudo.

O modelo gerado mostra que o Pau-preto não tem a probabilidade de ocorrer na maior parte das áreas de conservação Moçambicanas, exceptuado numa parte do Parque Nacional de Limpopo, Parque Nacional de Gorongosa e na Reserva Florestal de Derre , como se pode ver na Figura6, informação essa que ressuscita maior preocupação para com a conservação da espécie visto que a esta é classificada como ameaçada para Moçambique de acordo com a IUCN (1997).

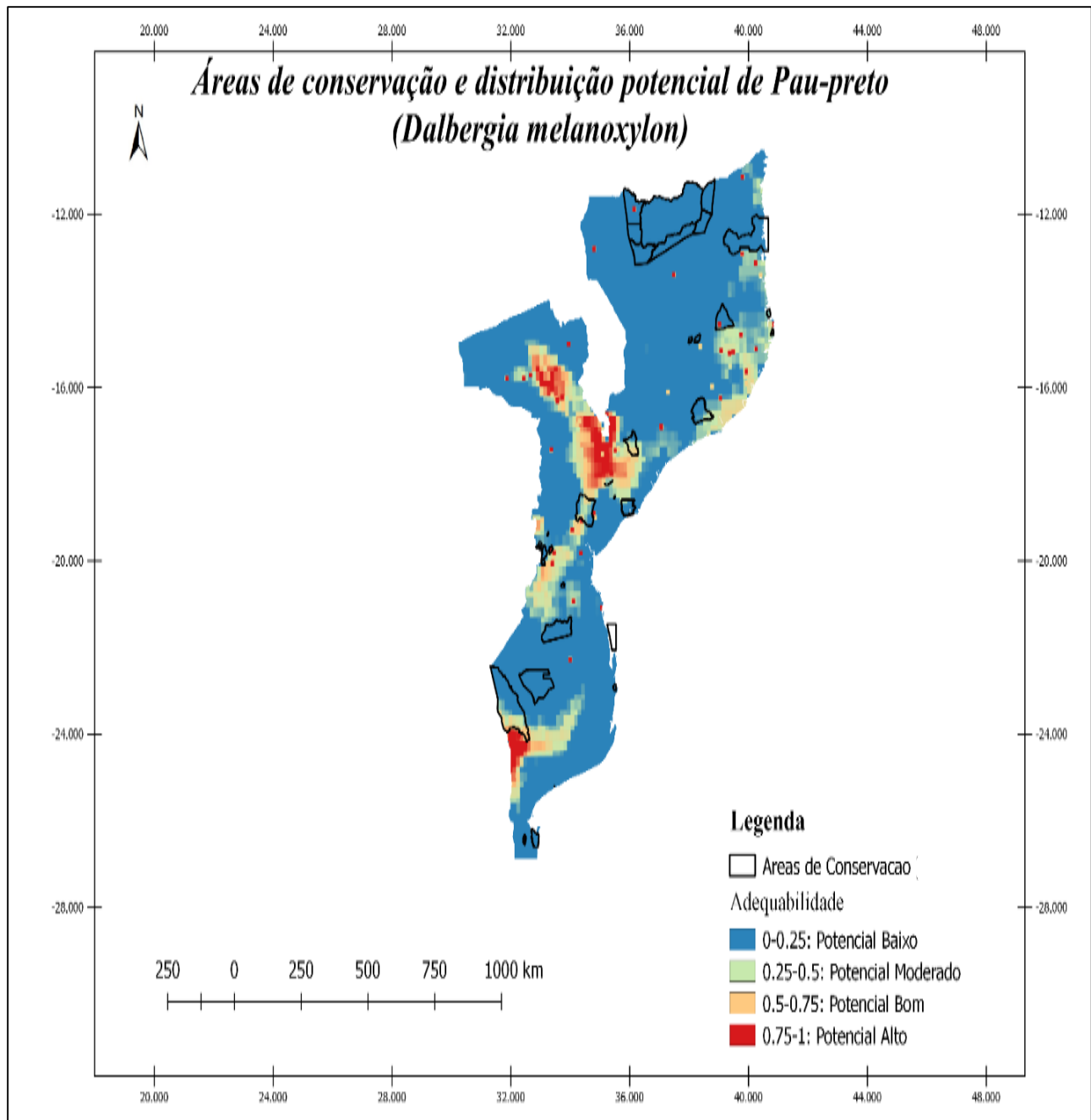


Figura 6. Áreas de Conservação e distribuição potencial Pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*).

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados no presente trabalho reforçam a importância dos modelos preditivos no estudo da distribuição de espécies, sugerindo que a modelagem pode fornecer importantes contribuições para a análise de padrões biogeográficos relacionados à distribuição da espécie.

Com o modelo gerado foi possível obter informações sobre a distribuição do potencial do Pau-preto em Moçambique e analisar quais variáveis ambientais estão relacionadas com essa distribuição, onde, pode se observar que o pau-preto tem maior probabilidade de ocorrer na região centro e na região sul só que numa pequena macha e a variável que mais contribui para a sua distribuição é a precipitação do mês mais quente (BIO14).

Quanto ao potencial de ocorrência do pau-preto nas áreas de conservação, o modelo gerado mostrou que o Pau-preto somente tem a probabilidade de ocorrer numa parte do Parque Nacional de Limpopo, Parque Nacional de Gorongosa e na Reserva Florestal de Derre, informação essa que ressuscita maior preocupação para com a conservação da mesma visto que a espécie é classificada como ameaçada para Moçambique.

VI. RECOMENDAÇÕES

Para os próximos estudos do género recomenda-se a validação pós-modelagem, isso permite verificar na realidade se os locais previstos no modelo tem ou não a probabilidade de ocorrência do pau-preto, portanto, isso não foi feito no presente estudo por falta de condições financeiras.

Tendo em conta que no presente estudo usou-se somente as variáveis climáticas recomenda-se para os próximos estudos semelhantes o uso do modelo digital de elevação, tipo de solo e tipos de vegetação para a modelagem visto que estas variáveis também podem influenciar a distribuição de uma espécie.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO, C. M. (2012). *USO DA ANTRACOLOGIA COMO INSTRUMENTO DE FISCALIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL EM MOÇAMBIQUE*.
- AFONSO, C. M., GONCALVES, Y. M., & UETIMANE, E. (2009). *Avaliação da quantidade de lenha necessária para a produção de carvão na Província de Cabo Delgado*. . Pemba.
- ANDERSON, R HIRZEL, A. H. & ARLETTAZ, R. (2003). *Modelling habitat suitability for complex species distributions by the environmental- distance geometric mean*. _ *Environ. Manage.*
- ARAUJO, M. B.,. GUISAN, J 2006 . *Dynamics of extinction and the selection of nature reserves*. _ *Proc. Roy. Soc., Biol. Sci.* 269: 1971_ 1980.
- BRYCE, J. (1967). *African blackwood*.
- BUNSTER, J. (2006). *Commercial timbers of Mozambique*. Maputo.
- (CARPENTER, G; GILLISON, A.N; WINTER, J; DOMAIN (1993) *A flexible modeling procedure for mapping potential distributions of plants, animais*,. Biodiversity and Conservation. London.
- ELITH, J., GRAHAM, C., ANDERSON, R. P., DUDÍK, M., FERRIER, S., GUISAN, A., . . . OVERTON, M. (2006). *Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data*.
- DNFFB (Direção Nacional de Floresta e Fauna Bravia) (2019). *Certificação Vocacional de nível III em Floresta e Fauna Bravia, ANEP(Autoridade Nacional da educação promocional)*
- FALCAO, M., BILA, A., & REMANE, I. (2013). *AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE RECEITAS DEVIDO A EXPLORAÇÃO E COMÉRCIO ILEGAL DE MADEIRA EM MOÇAMBIQUE NO PERÍODO 2003 – 2013*. MAPUTO.
- GONCALVES, Y. M., & UETIMANE, E. (2009.). *Avaliação da quantidade de lenha necessária para a produção de carvão na Província de Cabo Delgado*. . Pemba.
- GUISAN, A., & ZIMMERMAN, N. (2000). *PREDICTIVE HABITAT DISTRIBUTION MODELS IN ECOLOGY*.

- HOSMER, D. W., & LEMESHOW. (2000). *Applied Logistic Regression. Wiley Series in Probability and Statistics* (2nd ed.). Canadá.
- IWASHITA, F. (2007). *SENSIBILIDADE DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES A ERROS DE POSICIONAMENTO DE DADOS DE COLETA*. São José dos Campos:.
- JÚNIOR, P. M., & SIQUEIRA, M. F. (s.d.). *Como determinar a distribuição potencial*. Goiânia, Brasil.
- KAMINO, L. H. (2009). *MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL:.* Belo Horizonte – Minas Gerais.
- LOCK, W. (1986). *Florestas: Sistemas de recuperação com essências nativas*.
- LOPE, T. d., LEITE, V. R., & LEITE, G. R. (2007). *Modelagem de Nicho Ecológico e Conservação de Dalbergia nigra, Espécie Ameaçada de Extinção*. Porto Alegre: Revista Brasileira de Biociências.
- LIU, C; NEWELL, G (2011). *Measuring and comparing the accuracy of species distribution models with presence-absence data*. *Ecography*
- MAE. (2007). *Mocambique* .
- MANEL, S., WILLIAMS, C., & ORMEROD, J. (2001). *EVALUATING PRESENCE-ABSENCE MODELS IN ECOLOGY. THE NEED TO ACCOUNT FOR PREVALECE*.
- MARTIN, T. (2019). *LEVANTAMENTO BOTÂNICO DE BASE E AVALIAÇÃO DE IMPACTO*. Maputo.
- MARZOLI, A. (2007). *Inventário florestal nacional*. Maputo.
- MICOA. (2009). *The National Report on Implementation of the Convention on Biological Diversity in Mozambique*. Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental (MICOA), Maputo
- MINISTÉRIO DA TERRA, A. E. (2015). *ESTRATÉGIA E PLANO DE ACÇÃO PARA A CONSERVAÇÃO DA DIVERSIDADE BIOLÓGICA EM MOÇAMBIQUE*. Mozambique.

- MIRANDA, M. D. (2012). *MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES DE VELLOZIA (VELLOZIACEAE) ENDÊMICAS DA CADEIA DO ESPINHAÇO E O EFEITO AMOSTRAL SOBRE OS MAPAS PREDITIVOS*. BELO HORIZONTE.
- MITADER. (2015). *Estratégia Nacional e Plano de Acção da Diversidade Biológica de Moçambique (2015-2035)*.
- MUHACHA, B. (2021). *Silvicultura em Moçambique*. Maputo, Maputo, Moçambique.
- PANGLA; REZENDE; KOCH; KORTZ; DONATTI. (2012). *Modelos de distribuição de espécies em estratégias para conservação da biodiversidade e para adaptação baseada em ecossistemas frente a mudanças climáticas*. Brasil. Resista Brasileira
- PETERSON, A. T. (2003). *Predicting the geography of species invasions via ecological niche modeling*.
- PETERSON, C. (2001). *Modelagem de distribuição de espécies arbóreas por classe diamétrica no sudoeste da Amazônia*.
- PHILLIPS, S. J. (2006). *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. *Ecological Modelling* 190.
- PRIMACK, R. &. (2001). *Biologia da conservacao*.
- STEIERER, B. F. (2011). *Highlights on wood charcoal: 2004-2009*.
- TELLO, J. (1973). *Reconhecimento Ecológico da Reserva dos Elefantes do Maputo*. Matola, Maputo, Mocambique.
- WINTLE, B. A., ELITH, J., & M. P. (2005). *Fauna and habitat modeling and mapping: A review and case study in the Lower Hunter Central Coast region of NSW*.