

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

MODELAGEM DE ADEQUABILIDADE DE HABITAT DO ELEFANTE  
AFRICANO (*Loxodonta africana*, BLUMENBACH) NA RESERVA  
ESPECIAL DO NIASSA, MOÇAMBIQUE

Autor: Belo Albino Malei  
Orientador: Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro  
Coorientador: Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes

RIO VERDE- GO

Setembro – 2022

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

MODELAGEM DE ADEQUABILIDADE DE HABITAT DO ELEFANTE  
AFRICANO (*Loxodonta africana*, BLUMENBACH) NA RESERVA  
ESPECIAL DO NIASSA, MOÇAMBIQUE

Autor: Belo Albino Malei

Orientador: Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro

Coorientador: Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO, no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde - Área de concentração Conservação dos Recursos Naturais.

RIO VERDE- GO

Setembro – 2022

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, acima de tudo, pela vida, saúde, força, coragem, reconforto, esperança e por tornar possível a realização de mais um projeto de vida, apesar das grandes dificuldades enfrentadas ao longo desses dois anos. Obrigado!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro, pelo aceite em me orientar, confiança, incentivo nos estudos sobre modelagem e excelente e inestimável apoio prestado no decurso de todas etapas que constaram da realização do projeto.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes, pelo auxílio, incentivo e por compartilhar seus conhecimentos, principalmente durante a qualificação e realização do projeto.

À Administração das Áreas de Conservação de Moçambique (ANAC), pela autorização para realizar a pesquisa na Reserva Especial do Niassa (REN).

À Reserva Especial do Niassa (REN), pelo fornecimento dos dados referentes a REN e dados de ocorrência de elefantes, principalmente ao Eng<sup>o</sup>. Valdemar Carlitos Costa Jonasse, pelo apoio para aquisição dos dados.

À Direção do Instituto Agrário de Bilibiza (IABil), pela autorização para que eu pudesse continuar com os estudos. Um agradecimento especial ao Director Adjunto Pedagógico Abdala Sufo, pela compreensão em todos os momentos.

A equipe da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação (PPGBio), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde pela compreensão e apoio durante o mestrado, especialmente a Prof. Dra. Maria Andreia.

A todas as professoras e professores que passaram pela minha vida e que foram responsáveis pela minha formação profissional e pessoal, principalmente aos professores do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação (PPGBIO).

A Prof. Dra. Levi Carina Terribile pelas conversas produtivas e por suas relevantes contribuições com os conhecimentos repassados por ocasião da disciplina ministrada, e contribuições durante a realização do projeto.

Aos colegas de turma do PPGBio, pela convivência harmoniosa e troca de experiências que contribuíram para uma melhor relação acadêmica e pessoal.

Ao Engº. Osvaldo Venâncio C. Veremo, pelo companheirismo, partilha do Edital Nº 07/2020 e apoio na submissão da documentação para participar do Processo Seletivo do PPGBio, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, do segundo semestre de 2020.

Ao meu colega, amigo e companheiro, Engº. Dalmildo Agostinho Máquina, por todo incentivo, pelos momentos de reflexão, pelo apoio e por sempre estar ao meu lado em todos os momentos desta jornada.

À minha família, em especial a minha mãe Maria do Rosário Alberto e irmã Anchia Afito Hamido, minhas maiores incentivadoras de todos os momentos, não medindo esforços para apoiarem nessa conquista.

A todos que de forma direta e indireta contribuíram com nosso sucesso, os meus mais sinceros agradecimentos.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Belo Albino Malei, de Nacionalidade Moçambicana, Natural da cidade de Nampula, Província de Nampula, nascido em 06 de junho de 1991, filho de Maria do Rosário Alberto e Albino Belo. Concluiu o Nível Médio em Agropecuária no Instituto Agrário de Ribaué/Moçambique no ano de 2009. Em 2010 ingressou no curso de Licenciatura em Engenharia Florestal na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Lúrio, *Campus Wannango-Sanga*, concluindo a graduação em 2014. Atuou como Captador de Dados na empresa Florestas do Niassa/Moçambique, durante um ano (2015 a 2016). Em agosto de 2020 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação no Instituto Federal Goiano, *Campus Rio Verde*, previsto para concluir em agosto de 2022. Desde fevereiro de 2016, atua como docente e responsável do Departamento de Investigação e Extensão no Instituto Agrário de Bilibiza/Moçambique.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>BIOGRAFIA DO AUTOR</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIações E UNIDADES</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. Objetivos .....	4
1.1.1. Geral.....	4
1.1.2. Específicos .....	4
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>5</b>
2.1. Espécie modelo.....	5
2.2. Localização e descrição da área de estudo .....	5
2.3. Clima, Relevo e Hidrologia.....	6
2.4. Vegetação e fauna .....	7
2.5. População humana .....	7
2.6. Material .....	8
2.6.1. Definição e aquisição de dados.....	8
2.7. Métodos .....	9
2.7.A. Tratamento dos dados de entrada .....	9
2.7.A.1. Hidrografia .....	9
2.7.A.2. Uso e Ocupação do Solo .....	10
2.7.A.3. Aldeias .....	10
2.7.A.4. Variáveis bioclimáticas.....	10
2.7.A.5. Declividade.....	10
2.7.A.5. Pontos de ocorrência de elefantes.....	10
2.8. Elaboração do Modelo .....	11
2.8.1. Processo de Análise Hierárquica (AHP).....	12
2.8.2. Máxima Entropia (MaxEnt) .....	16
2.8.3. Validação do modelo .....	16
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>18</b>
3.1.1. Processo de Análise Hierárquica (AHP).....	18
3.1.2. Máxima Entropia (MaxEnt) .....	20
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>24</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>30</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Dados usados e respectivas fontes .....	8
Tabela 2 - Escala Fundamental de Conceitualização de Pesos Utilizados no AHP. 13	
Tabela 3 - Comparação par a par das variáveis (Matriz A) .....	14
Tabela 4 - Matriz (An) normalizada .....	14
Tabela 5 – Normalização das somas (Determinação da Taxa de Consistência). ....	15
Tabela 6 - Equações Para a Determinação da Taxa de Consistência. ....	15
Tabela 7 - Tabela de Índices de Consistência Aleatória (RI). ....	15
Tabela 8. Matriz pareada para a REN. CR = 0.02.....	19
Tabela 9 - Quantificação da adequabilidade das áreas para o Elefante Africano ....	20

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Elefante africano ( <i>Loxodonta africana</i> ) .....	5
Figura 2 - Localização da Reserva Especial do Niassa. ....	6
Figura 3 - Distribuição geográfica potencial do elefante ( <i>Loxodonta africana</i> ), com base na adequabilidade ambiental gerada pelo método AHP e pontos de ocorrência da espécie utilizados na confecção do modelo.....	18
Figura 4 - Distribuição geográfica potencial do elefante ( <i>Loxodonta africana</i> ), com base na adequabilidade ambiental gerada por MaxEnt e pontos de ocorrência da espécie utilizados na confecção do modelo.....	20
Figura 5 - Curva ROC (características operacionais do recetor).....	21
Figura 6 - Teste de Jack-Knife de importância das variáveis. O poder explicativo de cada parâmetro individual em relação à pontuação total da AUC é representado pela barra azul .....	21
Figura 7 - Pontos de ocorrência dos elefantes na REN .....	22
Figura 8 - Variáveis ambientais. (a) altitude, (b) precipitação, (c) declividade, (d) temperatura.....	23
Figura 9 - Variáveis ambientais. (a) vegetação, (b) distâncias dos rios, (c) distâncias das Aldeias.....	23

## LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACOES E UNIDADES

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process (Processo de Análise Hierárquica)</i>
AUC	<i>Area Under Curve</i>
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
CENACARTA	Centro Nacional de Cartografia e Teledeteo
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IDRISI	<i>Integrated geographic information system and remote sensing software</i>
IUCN	<i>International Union for Conservation of Nature</i>
MAE	Ministério de Administrao Estatal
MaxEnt	Máxima Entropia
MDE	Modelo Digital de Elevao
MDE <sub>1</sub>	Modelo de Distribuio de Espécies
REN	Reserva Especial do Niassa
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i>
SIG	Sistema de Informao Geográfica
SGDRN	Sociedade para a Gesto e Desenvolvimento da Reserva do Niassa
UCS	Uso e Cobertura do Solo
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
WWF	<i>World Wildlife Fund</i>

## RESUMO

MALEI, BELO ALBINO. Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO, Setembro de 2022. **Modelagem de adequabilidade de habitat do Elefante Africano (*Loxodonta africana*, Blumenbach) na Reserva Especial do Niassa, Moçambique**. Orientador: Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro. Coorientador: Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes.

O elefante africano (*Loxodonta africana*, Blumenbach) representa o maior mamífero terrestre vivo. As principais ameaças à sobrevivência da espécie são a perda e a degradação de seu habitat natural e caça furtiva pela ação humana e mudanças climáticas. O objetivo do trabalho visa mapear a adequabilidade do habitat do elefante africano na Reserva Especial do Niassa (REN), integrando para esse fim modelação espacial para a gestão e conservação desta espécie. A Modelagem de Distribuição de Espécie (MDE<sub>1</sub>), resultou na elaboração do mapa de adequabilidade de habitat da REN para o elefante africano, através de dois métodos (AHP e MaxEnt), a partir de um conjunto de variáveis bioclimáticas e de dados de presença de elefante. O modelo foi validado por meio do índice *Area Under Curve* (AUC), tendo apresentado baixo desempenho, visto que o valor de AUC foi de 0,575. Para ambos métodos as variáveis bioclimáticas que melhor contribuíram para a modelagem foram: Altitude, a qual apresenta ter a maior informação útil agregada e a Precipitação, mas diferiram no valor da contribuição. Os locais de maior adequabilidade ambiental da *Loxodonta africana* encontram-se no Centro e no Sudeste da REN, apresentando o Sudoeste e as regiões de maior altitude do Centro da reserva, adequabilidade reduzida ou nula. No mapa de adequabilidade de habitat produzido pelo método AHP, 84,4% da área foi classificada como adequabilidade média, alta e muito alta e, 15,6% como área de baixa e muito baixa adequabilidade para distribuição de elefantes. Os métodos são flexíveis, de fácil implementação produzindo mapas contendo soluções adequadas para realizar modelagem de adequabilidade ambiental e podem auxiliar nos planos de conservação da biodiversidade e de tomada de decisão no que concerne à gestão de espécies nas Áreas de Conservação. Contudo, são necessárias pesquisas contínuas sobre distribuição de espécies faunísticas e seus habitats e também estudos para identificar eventuais melhorias de desempenho do modelo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adequabilidade de *habitat*; AHP; Máxima Entropia; *Loxodonta africana*; Megafauna.

## ABSTRACT

MALEI, BELO ALBINO. Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO, Setembro de 2022. **Habitat suitability modelling of the African Elephant (*Loxodonta africana*, Blumenbach) in the Niassa Special Reserve, Mozambique.** Orientador: Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro. Coorientador: Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes.

The African elephant (*Loxodonta africana*, Blumenbach) represents the largest living terrestrial mammal. The main threats to the survival of this specie are the loss and degradation of its natural habitat and poaching by human action and climate change. The objective of this work is to map the suitability of the habitat of the African elephant in the Niassa Special Reserve (NSR), integrating for this purpose spatial modelling for the management and conservation of this species. The Species Distribution Modelling (MDE<sub>1</sub>) resulted in the elaboration of the NSR habitat suitability map for the African elephant, through two methods (AHP and MaxEnt), from a set of bioclimatic variables and data on the presence of elephant. The model was validated using the Area Under Curve (AUC) index, having presented low performance, since the AUC value was 0.575. For both methods, the bioclimatic variables that best contributed to the modelling were: Altitude, which has the greatest aggregate useful information, and Precipitation, but they differed in the value of the contribution. The sites of greatest environmental suitability for *Loxodonta africana* are located in the Centre and Southeast of NSR, with the Southwest and the higher altitude regions of the Centre having low or no suitability. In the habitat suitability map produced by the AHP method, 84.4% of the area was classified as medium, high and very high suitability and 15.6% as low and very low suitability for elephant distribution. The methods are flexible, easy to implement, producing maps containing adequate solutions to perform environmental suitability modelling and can assist in biodiversity conservation plans and decision-making regarding the management of species in Conservation Areas. However, continuous research on the distribution of faunal species and their habitats is necessary, as well as studies to identify possible improvements in the performance of the model.

KEYWORDS: Habitat suitability; AHP; Maximum Entropy; *Loxodonta africana*; Megafauna.

## 1. INTRODUÇÃO

A perda e fragmentação de habitat são as principais causas da extinção de espécies, com as mudanças climáticas se tornando um risco crescente (IPBES, 2019). Os efeitos da perda e fragmentação de habitat são particularmente graves para a megafauna, que requer abundantes fontes de alimento e grandes áreas de habitat para sustentar populações viáveis (CROOKS *et al.*, 2017; RIPPLE *et al.*, 2017).

A rápida mudança do uso da terra por humanos está levando à perda direta e fragmentação do habitat para os elefantes africanos da Savana e é uma ameaça crescente para as populações em toda a sua área de distribuição (GOBUSH *et al.*, 2021). E em Moçambique, a consequente degradação dos ecossistemas resultará em perdas inestimáveis de bens e serviços ecossistêmicos importantes para a subsistência das comunidades locais e para sectores económicos (WWF, 2014).

O relatório de status do elefante africano de 2016 estimou uma população continental de 415.428 (+/- 95% CI 20.111) para a savana africana e os elefantes da floresta africana combinados e relatou um declínio continental de aproximadamente 111.000 elefantes desde 2006 (GOBUSH *et al.*, 2021). Todavia, Moçambique possui uma população de elefantes, estimada em cerca de 9.605 (até 2016), onde a REN tem uma população de 3.600 elefantes, tendo havido um rápido declínio populacional de 53% em cinco anos (ALLEN, 2016).

As populações de elefantes africanos, são encontrados em uma ampla faixa latitudinal entre os trópicos do Norte em Mali (16 ° ao Norte) e a zona temperada do Sul (34 ° ao Sul) na África do Sul. Eles ocupam uma variedade de habitats que variam de floresta montana, floresta de miombo e floresta de mopane, matagal, savana e pastagens a desertos áridos e uma ampla faixa altitudinal de encostas de montanhas a praias oceânicas. (GOBUSH *et al.*, 2021).

O elefante africano (*Loxodonta africana*, Blumenbach) é uma das espécies que mais sofre com a expansão da população humana, com uma diminuição de 30 % entre 2007 e 2014 e uma taxa anual de diminuição de 8% no mesmo período (CHASE *et al.*, 2016). O declínio nas populações de elefantes é causado pela perda e fragmentação do habitat (UNEP; IUCN, 2013), bem como pela caça furtiva para o marfim (GOBUSH; MUTAYOBA; WASSER, 2008; WITTEMYER *et al.*, 2014).

No entanto, o conflito humano-elefante foi identificado como prejudicial às populações de elefantes em muitas regiões (GADD, 2005; GRAHAM; NOTTER; ADAMS; LEE; OCHIENG, 2010) em parte devido à inadequação das áreas protegidas. A expansão de terras agrícolas e a construção de estradas e ferrovias, levaram ao isolamento da população dos elefantes e até mesmo à interrupção do fluxo gênico (BLAKE *et al.*, 2008; ZHANG *et al.*, 2012) fazendo com que as populações se encontrem dispersas e fragmentadas (SAID *et al.*, 1995) em áreas onde a paisagem é dominada pelo homem.

A planificação, designação, estabelecimento e gestão das Áreas de Conservação são o passo mais importante de qualquer estratégia de carácter nacional de conservação dos recursos naturais, da biodiversidade e em particular para os mamíferos de grande porte como o elefante africano (FERREIRA *et al.*, 2007).

A existência de áreas protegidas pode compensar o referido problema, no entanto, na Reserva Especial do Niassa, a existência de populações humanas nativas dentro da reserva, potenciam situações de confrontos com os elefantes, e desse modo ocorre a sobreposição espacial de recursos. Esta sobreposição de recursos resulta em conflito entre os elefantes e as comunidades locais. A caça furtiva também tem sido uma das principais causas do declínio das populações de elefantes, que tem sido impulsionada pela procura de marfim do qual posteriormente são ilegalmente comercializados (WWF, 2014).

A gestão do elefante africano para sua sobrevivência, na atual situação, avaliada como ameaçada (A2abd ver 3.1) pela Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN (GOBUSH *et al.*, 2021), representa um problema sério em todo o mundo e um desafio, uma vez que se trata de um fenómeno de sobreposição espacial e temporal relativa à distribuição e utilização dos recursos procurados e partilhados por diversas espécies (BARBARO; DUTOIT; COZIC, 2001).

No entanto, a análise de uma situação que combina variáveis bioclimáticas com informações sobre a ocorrência de uma determinada espécie para obter modelos que descrevem a sua distribuição em uma região geográfica ou comunidade biótica, podem ajudar em programas de gestão e conservação do elefante africano na REN.

Todavia, a Modelagem de Adequabilidade de Habitat surge então como uma ferramenta bastante promissora para prever áreas com condições adequadas para a ocorrência das espécies e consiste em gerar modelos (mapas de probabilidade de ocorrência) de uma determinada espécie baseando-se em dados de ocorrência da espécie e de variáveis ambientais ou bioclimáticas (ANDERSON; GÓMEZ-LAVERDE; PETERSON, 2002).

As ferramentas de Modelagem de Adequabilidade de Habitat têm-se mostrado eficazes em extrapolar padrões de distribuição, áreas de nicho fundamental e previsões futuras (TERRIBILE *et al.*, 2012). Entretanto, nos últimos anos, esses modelos se tornaram uma ferramenta importante para abordar questões de pesquisa, conservação e gestão da biodiversidade (GUISAN *et al.*, 2006) e tem sido utilizado em estudos dos mais diversos grupos, com abordagens em áreas como biogeografia e filogeografia (CARNAVAL; MORITZ, 2008) biologia conservativa (DIAS *et al.*, 2011) e evolução (MCCORMACK *et al.*, 2009).

Vários estudos de adequação de habitat foram realizados anteriormente em elefantes africano em Moçambique. Por exemplo, Neto *et al.* (2014) verificam que, os modelos classificaram adequadamente os habitats que devem ser prioritários do ponto de vista da gestão e conservação do elefante africano, para ambas as estações do ano existentes, enquanto Manhice (2015) constatou que os habitats mais frequentados pelas três manadas de elefantes na Reserva Florestal de Moribane, incluíram: as florestas sempre verdes, florestas sempre verdes densas e savanas arbustivas. Com tudo, estudar a adequabilidade de habitat na REN, pode auxiliar na gestão dos recursos e ajudar a priorizar áreas específicas para conservação desta espécie, pós, a REN tem a maior população de elefantes de Moçambique, possui 58.000 habitantes vivendo em 44 aldeias e verificam-se conflitos entre humanos e elefantes (Gross *et al.*, 2022).

Além disso, não existe uma previsão da distribuição do elefante e dos seus habitats nesta área de conservação, que possibilite a tomada de medidas preventivas e de controlo da espécie. Neste estudo, usamos o Processo de Análise Hierárquica e a Máxima Entropia para modelar e identificar potenciais áreas de interesse relevante para a gestão e conservação do elefante africano na REN.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Geral**

Este trabalho tem como objetivo identificar potenciais áreas de interesse relevante para a gestão e conservação do elefante africano na REN.

Especificamente, as questões orientadoras do presente estudo foram: (1) como estão distribuídas espacialmente os registros de ocorrência de *Loxodonta africana* na Reserva Especial do Niassa? (2) quais os habitats adequados para ocorrência da espécie dentro da REN? (3) quais variáveis bioclimáticas influenciam esta distribuição? e (4) a proximidade com humanos reduz a adequabilidade de habitat dos elefantes na REN?

### **1.1.2. Específicos**

Elaborar o Modelo de adequabilidade de habitat dos elefantes para REN;

Analisar a contribuição relativa e importância das variáveis no modelo;

Avaliar a precisão do modelo gerado para a gestão e conservação dos elefantes na REN.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Espécie modelo

O elefante africano (*Loxodonta africana* Blumenbach, 1797) é uma espécie pertencente à Ordem *Proboscídea*, Família *Elephantidae*, tendo ocorrido em toda a África e atualmente são encontrados em 24 Países (GOBUSH *et al.*, 2021). É o maior herbívoro e mamífero terrestre do mundo, atingindo nos machos até 6000 kg de peso e 4m de altura, nas fêmeas 3.500kg de peso e 3.3m de altura (KADZO, 1996).



Figura 1 - Elefante africano (*Loxodonta africana*)  
Fonte: IUCN Red List (2021)

É uma espécie de valor económico, ecológico, cultural e estético, de atração turística significativa para a observação da vida selvagem e avaliada como ameaçada (A2abd ver 3.1) pela Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN (GOBUSH *et al.*, 2021). Segue uma estratégia de alimentação mista generalizada (forrageamento na grama e pastagem), com um papel ecológico importante como processadores em massa de material vegetal e pode ocupar uma variedade de habitats que variam de floresta montana, floresta de miombo e floresta de mopane, matagal, savana e pastagens a desertos áridos e uma ampla faixa altitudinal de encostas de montanhas a praias oceânicas (KADZO, 1996).

### 2.2. Localização e descrição da área de estudo

A REN, localiza-se a norte de Moçambique entre os paralelos 11° 24' 40,40" e 13°12'51,86" Sul, e meridianos 35° 48' 11,48" e 38° 52' 46,20" Leste. e faz fronteira com a Tanzânia a Norte e ocupa uma superfície total de 42.300 Km<sup>2</sup> ocupando cerca de 1/3 da província de Niassa, concretamente os distritos de Mecula, Mavago, parte

dos distritos de Muembe, Majune, Marrupa, Sanga e parte dos distritos de Mueda e Montepuez, na Província de Cabo Delgado. A Reserva Especial do Niassa é limitada pelo rio Rovuma a Norte, Rio Lugenda a Sudeste, Rio Luatize a Sudoeste e pelo Rio Lussanhando no extremo Oeste (SGDRN, 2005).

A REN está subdividida em 15 unidades de gestão nomeadamente, R1, R3, R4, R6, L1, L2, L4, L5, L6, L7 e L9 (áreas de conservação de recursos), R2, R5, L3 e L8 (áreas de conservação de selva virgem) e montes Jau e Mecula (áreas especiais de conservação) (Figura 2).

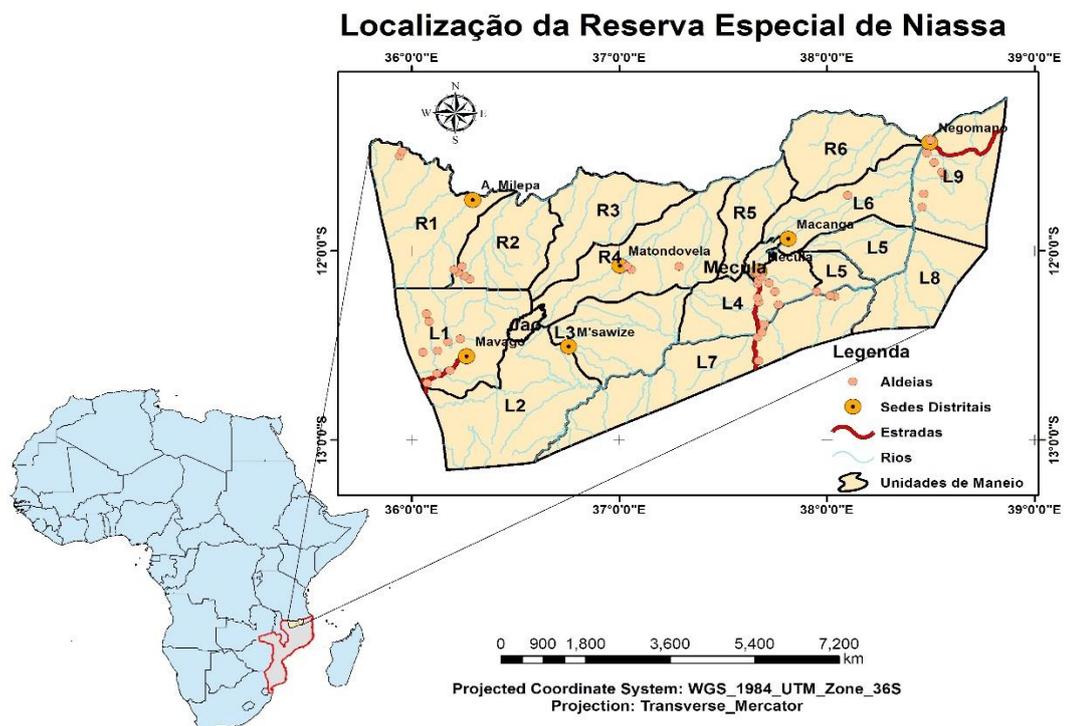


Figura 2 - Localização da Reserva Especial do Niassa.  
Fonte: Autor (2022).

### 2.3. Clima, Relevo e Hidrologia

A REN possui um clima tropical húmido, com precipitação durante a estação quente Novembro - Abril. A Precipitação média anual varia de 1400 mm na montanha de Mecula até 600 mm, nos vales dos rios Rovuma e Lugenda. As temperaturas médias mensais podem atingir 30° C em Outubro e Novembro, enquanto a média dos meses mais frescos da estação seca (Maio – agosto), varia entre 20° C e 26° C (SGDRN, 2005).

O relevo é acidentado e com muitas elevações no extremo Oeste passando para plano a Este. A altitude varia de 100m nas imediações dos rios Rovuma e Lugenda até 1400m na montanha de Mecula. A montanha de Mecula é um *inselberg* isolado, de grande dimensão localizado no centro da reserva que é circundada por uma zona plana. As características dos solos variam de areno-argilosos, profundos e permeáveis de pouca fertilidade a solos inférteis de camadas superficiais e finas de areia, frequentemente vulneráveis à erosão (MAE, 2005).

Dois grandes rios (Rovuma a Norte e Lugenda a Este e Sul), atravessam a Reserva Especial do Niassa e ao Sul, rio Luatise, Luambala, Luchimua, Lureco, Lucheringo, Messinge e Chiulezi. A montanha de Mecula representa uma importante faceta na hidrologia da Reserva, pois, é suficientemente alta para gerar chuvas orográficas nas áreas circunvizinhas gerando água que alimenta os rios Ncuti e o Licombe (SGDRN, 2005).

#### **2.4. Vegetação e fauna**

Mais de 70% da área total da Reserva Especial do Niassa é coberta por floresta de miombo que inclui mais 800 espécies de plantas, metade das quais endémicas. A vegetação dentro da REN subdivide-se em 6 classes, designadamente, Floresta Aberta decídua, Floresta densa decídua, Floresta Sempre verde, *Dambos* (Pradaria inundada), Vegetação Ribeirinha e Floresta com Agricultura Itinerante (TIMBERLAKE, 2004).

A reserva compreende 31% das áreas protegidas de Moçambique e abriga populações altamente significativas de vida selvagem, incluindo as maiores populações de cerca de 3.600 elefantes, leões (*Panthera leo*) (1000–1200), leopardos (*Panthera pardus*), cães selvagens (*Lycaon pictus*) (400–450), zibelina (*Hippotragus niger*), kudu (*Tragelaphus strepsiceros*), gnus (*Connochaetes taurinus*) e zebras (*Equus quagga*) (ALLAN, et al., 2017).

#### **2.5. População humana**

Ao longo de décadas foi ocupada por famílias locais que vivem em grupos relativamente isolados e, actualmente conta com cerca de 58.000 habitantes distribuídos em 44 aldeias incluindo duas sedes distritais, nomeadamente, Mecula e Mavago (Gross et al., 2022). A densidade populacional é baixa e varia de 0.8 habitantes/km<sup>2</sup> em Mecula até 1.9 habitantes/Km<sup>2</sup> no distrito de Mavago (MAE, 2005).

Grande parte da população vive dedicando-se à prática de agricultura de subsistência incluindo outras actividades como extração do mel, lenha, caça e comércio de pequena escala e vivem com menos de 1 dólar por dia (CUNLIFFE *et al.*, 2009).

A população que reside na REN realiza o comércio com os restantes distritos da província de Niassa ao mesmo tempo que estabelece laços comerciais com a vizinha Tanzânia. As principais culturas de rendimento são o tabaco e algodão. O fomento pecuário é muito baixo, provavelmente devido à existência de predadores como, por exemplo, leões, leopardos e hienas (MAE, 2005).

## 2.6. Material

### 2.6.1. Definição e aquisição de dados

As variáveis em estudo no trabalho, foram: Hidrografias; Uso e Cobertura do Solo (UCS); Aldeias; Variáveis Bioclimáticas (Altitude, Precipitação e Temperatura); Pontos de ocorrência de Elefantes na REN e Modelo Digital de Elevação (MDE). Os dados vetoriais foram fornecidos pelo CENACARTA (Centro Nacional de Cartografia e Teledeteção), e a REN. O MDE foi obtido gratuitamente dos dados do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) através da Página Web ASTER-GDEM. As variáveis bioclimáticas (precipitação e temperatura) e altitude, foram extraídas no *site* WorldClim (<http://worldclim.org>), sendo utilizada a versão 2.1, conforme a tabela abaixo (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados usados e respetivas fontes

Dados	Formato	Fonte	Escala/resolução
Hidrografia	Vectorial (Shapefile)	CENACARTA	1:250 000
Uso e Cobertura de Solo (UCS)	Vectorial (Shapefile)	CENACARTA	1:250 000
Aldeias	Vectorial (Shapefile)	REN	1:250 000
Altitude	Tif	<i>WordClim</i>	30 Segundos
Precipitação	Tif	<i>WordClim</i>	30 Segundos
Temperatura	Tif	<i>WordClim</i>	30 Segundos
Ponto de ocorrência de elefantes	Vectorial (Shapefile)	REN	1:250 000
Modelo Digital de elevação (MDE)	Raster (Tif)	ASTER-GDEM	30m

Fonte: Autor (2022)

Foram também usadas plataformas informáticas tais como O *Microsoft Office 2013* para criação, organização e composição do relatório do trabalho e Versão temporária do ArcGIS 10.3.6, da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) nos pacotes *ArcMap* para Geoprocessamento e *ArcCatalog* para criação da base de dados espaciais.

## **2.7. Métodos**

A fase inicial da pesquisa envolveu um estudo teórico e prático sobre as atividades envolvidas no Processo de Modelagem de Distribuição de Espécies baseado no conceito de nicho ecológico (SOBERON; PETERSON, 2005).

### **2.7.A. Tratamento dos dados de entrada**

As variáveis consideradas no modelo de distribuição dos elefantes foram aquelas que exerceram forte influência na adequabilidade e distribuição do elefante africano. Portanto foram criados planos de informações referentes a Aldeias; Hidrografias; Uso e Cobertura do Solo (UCS); Declividade; Precipitação; Temperatura; Altitude e Pontos de ocorrência de elefantes.

Antes da utilização dos dados, eles foram padronizados, através do *software* ArcGIS 10.3.6 ©ESRI, com mesma resolução (1 km<sup>2</sup>), georreferenciados no sistema de coordenadas geográficas utilizando o Datum WGS 84 (*World Geodesic System*, 1984) e, posteriormente, foi extraída a área de abrangência do estudo, a Reserva Especial do Niassa.

#### **2.7.A.1. Hidrografia**

Os dados vetoriais referente hidrografia (Rios), foram, rasterizados, e calculados a distância Euclidiana. Os valores da distância á água, demonstram a disponibilidade aos recursos hídricos dos elefantes, tais distâncias são derivadas a partir do mapa das principais fontes hídricas da REN, que por sua vez derivam a partir das cartas de escala 1:250.000 atualizadas com imagens de satélite LANDSAT TM (30 metros de resolução) (CENACARTA, 2007). Foi aplicada a ferramenta *Euclidean Distance* que calcula, para cada célula (pixel), a distância euclidiana e produz um raster métrico. Nesse raster cada pixel adota um valor de distância com base na proximidade dos pixels iniciais, que no caso são os arquivos vetoriais convertidos, baseado no comando *Euclidian distance* (*ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *distance*).

### **2.7.A.2. Uso e Ocupação do Solo**

O mapa de Uso e Cobertura de Solo (UCS) foi obtido a partir do relatório de Inventário Nacional de Recursos Florestais (Marzoli, 2007). Com base na classificação de Marzoli (2007) foram identificados na REN, 9 tipos de uso e cobertura da terra, designadamente: Agricultura, Floresta Baixa Aberta, Floresta Baixa Densa, Floresta Baixa Mediamente Densa, Matagal Alto, Matagal Baixo, Matagal Médio Pradaria e Pradaria Arborizada.

### **2.7.A.3. Aldeias**

Os dados vetoriais referentes as aldeias foram rasterizados e calculados a distância Euclidiana. As distâncias são derivadas a partir do mapa das aldeias da REN, que por sua vez derivam a partir das cartas de escala 1:250.000 atualizadas com imagens de satélite LANDSAT TM (30 metros de resolução) (CENACARTA, 2007). Assim, foi aplicada a ferramenta *Euclidean Distance* que calcula, para cada célula (pixel), a distância euclidiana e produz um raster métrico. Nesse raster cada pixel adota um valor de distância com base na proximidade dos pixels iniciais, que no caso são os arquivos vetoriais convertidos, baseado no comando *Euclidian distance* (*ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *distance*).

### **2.7. A.4. Variáveis bioclimáticas**

As variáveis bioclimáticas foram selecionadas de acordo com o potencial de relevância ecológica para a espécie em estudo e a sua disponibilidade em resolução compatível com os objectivos do trabalho (NEGRÃO; NETO, 2018). As variáveis bioclimáticas e Altitude utilizadas na construção do modelo de adequabilidade foram obtidas através dos bancos de dados do *Worldclim – Global Climate* (versão 2.1, com uma resolução de pixel de 30", equivalente a aproximadamente 1 km<sup>2</sup> no terreno). Essas informações espaciais foram construídas considerando a média dos dados coletados entre os anos de 1970 e 2000 (FICK; HIJMANS, 2017).

### **2.7.A.5. Declividade**

A declividade foi obtida partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) através da ferramenta *Slope* (*ArcToolbox* → *SpatialAnalystTools* → *Superface*).

### **2.7.A.5. Pontos de ocorrência de elefantes**

Os pontos de ocorrência desta espécie, foram obtidos dos bancos de dados da Reserva Especial do Niassa, tendo sido gerados a partir de observações aéreas do ano de 2020 e estão representados por pontos (coordenadas colhidas com recurso a um GPS) para cada local de avistamento. Utilizando o Microsoft Excel e o Google

Earth Pro 7.3.2, estes pontos de ocorrência foram verificados e validados, havendo remoção de duplicatas e correção de dados errados ou incompletos.

## **2.8. Elaboração do Modelo**

A adequabilidade de habitat dos elefantes, foi modelada utilizando dois métodos distintos: Processo de Análise Hierárquica (AHP) e Máxima Entropia (MaxEnt).

Esses dois métodos se diferenciam porque o Processo de Análise Hierárquica (AHP) é um procedimento estruturado e eficaz para lidar com decisões complexas, que auxilia a encontrar, dentro das possíveis alternativas, a que melhor se adequa às necessidades e compreensão do problema, cujo princípio é o da racionalidade (DIAS, 2015). Esse método é baseado na criação de uma hierarquia de decisão, composta por níveis de importância que permitem uma visão global das relações referentes ao processo, e para estabelecer a importância relativa de cada fator da hierarquia são elaboradas matrizes de comparação para cada nível, onde os resultados das matrizes são ponderados entre si.

O método AHP, possui algumas vantagens tais como (VIEIRA, 2006): I) possibilita uma interpretação e análise do problema com baixa complexidade. Ao apresentar um baixo nível de complexidade colabora para facilitar a interpretação do processo analítico pelas partes intervenientes; II) aplica procedimentos dedutivos rigorosos e sistemáticos como mais uma forma de diminuir a imprecisão na análise de problemas; III) torna possível estimar o nível de satisfação de cada alternativa e determinar a ordem de importância de cada assunto (ou critério), o que constitui o fundamental objetivo da aplicação do processo AHP; IV) disponibiliza meios para determinar a consistência lógica dos julgamentos realizados que são posteriormente empregados na determinação das prioridades; V) Permite determinar o resultado final fundamentado na síntese dos diversos julgamentos realizados pelos diferentes intervenientes no sistema em análise.

Enquanto que o método de Máxima Entropia (MaxEnt), infere de um conhecimento incompleto a função de distribuição probabilística que inclui todas as restrições conhecidas de certo conjunto de dados, com objetivo de manter a máxima entropia. O MaxEnt assume que as restrições são obtidas pela sobreposição das variáveis ambientais com os registros de ocorrência da espécie (PHILIPS *et al.*, 2006).

Este método é capaz de realizar previsões ou inferências de informações incompletas, oferecendo diversas vantagens comparado a outros métodos (ELITH; GRAHAM, 2009). Dentre as vantagens, destaca-se o fato de necessitar apenas de dados de presença para modelar toda a área de estudo, juntamente com as informações ambientais (PHILIPS *et al.*, 2006). Ele, é amplamente utilizado em trabalhos de Modelo de Distribuição de Espécies (MDE<sub>1</sub>), tendo mostrado melhor resultado de predição em estudos que comparam diferentes MDE<sub>1</sub> (ELITH; GRAHAM, 2009; TARKESH; JETSCHKE, 2012) além de resultados satisfatórios com poucos pontos de presença (WILLIAMS *et al.*, 2009).

Para ambos os métodos, AHP e MaxEnt, o produto final é um raster classificado que indica o grau de adequabilidade, pixel-por-pixel, para ocorrência de certa espécie.

### **2.8.1. Processo de Análise Hierárquica (AHP)**

O Mapa de Adequabilidade de habitat dos elefantes foi gerado combinando as variáveis: Altitude, Aldeias; Hidrografias; Modelo digital de Elevação (MDE), Precipitação, Temperatura e Uso e Cobertura do Solo (UCS), através do comando *Wighted Sum (ArcToolbox → SpatialAnalystTools → Overlay)*. Para tal foi selecionado o Método de Processo de Análise Hierárquica (AHP) proposto por Saaty (1990) para criar uma matriz de comparação par a par das variáveis permitindo que cada uma delas tenha seu peso correspondente. A partir do momento em que os mapas temáticos das variáveis estiveram padronizados e prontos, foram classificados mediante o grau de importância que uma exerce sobre outra (JUVANHOL *et al.*, 2011).

Foram integrados sete planos de informação referentes às características gerais da área: Altitude, Distância das aldeias, Distância dos rios, Declividade, Precipitação, Temperatura e Uso e cobertura do Solo. Os valores dos coeficientes foram atribuídos em suas Tabelas como pesos que todos os parâmetros possuem em relação à distribuição dos elefantes, estes mesmos valores descritos em cada mapa foram agrupados com a ferramenta “Calculadora de Imagens matriciais”, sendo que cada mapa recebeu um peso específico gerando assim o Mapa de Adequabilidade de habitat dos Elefantes, descrito na equação abaixo.

$$MAHE = (ALT \times 0.36) + (P \times 0.24) + (DR \times 0.16) + (T \times 0.10) + (UCS \times 0.07) + (D \times 0.04) + (DA \times 0.03)$$

Em que: *MAHE* = Mapa de Adequabilidade de Habitat dos Elefantes; *ALT* = altitude; *DA* = distancia das aldeias; *D* = declive; *P* = precipitação; *DR* = distâncias dos rios; *T* = temperatura; *UCS* = Uso e Cobertura de Solo.

Os pesos dos critérios foram definidos com base na literatura científica e na experiência de pesquisadores da área. A partir da matriz gerada, foram calculados o Índice de Consistência (IC) e a Taxa de Consistência (CR) em três etapas: I) comparação par a par das variáveis (Tabela 3); II) criação de uma nova matriz com *V* normalizado, sendo esse obtido através da divisão de cada valor do vetor *V* pelo seu somatório (Tabela 4); III) normalização das somas (Tabela 5).

A escala fundamental de conceitualização de pesos utilizada por Saaty (2008) mostrada na Tabela 2, vai de 1 a 9, com 1 representando dois critérios de igual importância e 9 indicando a ordem mais forte de diferença entre dois critérios em avaliação. Sendo que quanto maior o valor, maior a importância do determinado critério e quanto menor o valor, menor é a importância do mesmo critério.

Tabela 2 - Escala Fundamental de Conceitualização de Pesos Utilizados no AHP.

Importância	Definição	Explicação
1	Mesma Importância	As duas atividades contribuem igualmente
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma actividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidencia favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: SAATY (2008).

Com base na escala fundamental de conceitualização de pesos utilizados no AHP apresentado na Tabela 2, foi possível fazer a comparação par a par das variáveis e a criação de uma nova matriz com V normalizado, como ilustra a Tabela 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 - Comparação par a par das variáveis (Matriz A)

Variáveis	<i>ALT</i>	<i>P</i>	<i>DR</i>	<i>T</i>	<i>UCS</i>	<i>D</i>	<i>DA</i>
<i>ALT</i>	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00	7.00	9.00
<i>P</i>	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00	8.00
<i>DR</i>	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00
<i>T</i>	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00
<i>UCS</i>	0.17	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00	4.00
<i>D</i>	0.14	0.17	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00
<i>DA</i>	0.11	0.13	0.17	0.20	0.25	0.50	1.00
<b>SOMA</b>	<b>2.50</b>	<b>4.38</b>	<b>7.25</b>	<b>11.03</b>	<b>16.75</b>	<b>23.50</b>	<b>35.00</b>

Fonte: Autor (2022)

Tabela 4 - Matriz (An) normalizada

Variáveis	<i>ALT</i>	<i>P</i>	<i>DR</i>	<i>T</i>	<i>UCS</i>	<i>D</i>	<i>DA</i>
<i>ALT</i>	0.40	0.46	0.41	0.36	0.36	0.30	0.26
<i>P</i>	0.20	0.23	0.28	0.27	0.24	0.26	0.23
<i>DR</i>	0.13	0.11	0.14	0.18	0.18	0.17	0.17
<i>T</i>	0.10	0.08	0.07	0.09	0.12	0.13	0.14
<i>UCS</i>	0.07	0.06	0.05	0.05	0.06	0.09	0.11
<i>D</i>	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06
<i>DA</i>	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03
<b>SOMA</b>	<b>1.00</b>						

Fonte: Autor (2022)

Apos a criação de uma nova matriz com V normalizado, foi realizado o processo de verificação da inconsistência da mesma utilizando como base o número principal de Eigen ( $\lambda_{Max}$ ), cujo o número principal de Eigen apresenta os pesos relativos entre os critérios onde o mesmo é obtido através da média aritmética dos valores de cada um dos critérios e o mesmo determina a participação daquele determinado critério (GOMEDE; BARROS, 2012).

Tabela 5 – Normalização das somas (Determinação da Taxa de Consistência).

Variáveis	Autovector (W) Peso das Variáveis	Produto Vetorial (A*W)	Lambda	Lambda Máximo	Índice de Consistência	Índice Randômico IR (ICA)	Taxa de Consistência (CR)
<b>ALT</b>	0.36	2.66	7.30	7.17	0.03	1.35	0.02
<b>P</b>	0.24	1.77	7.29				
<b>DR</b>	0.16	1.13	7.26				
<b>T</b>	0.10	0.74	7.14				
<b>UCS</b>	0.07	0.48	7.05				
<b>D</b>	0.04	0.29	7.07				
<b>DA</b>	0.03	0.18	7.07				
<b>SOMA</b>	<b>1.00</b>						

Fonte: Autor (2022)

Os valores de Índice de Consistência (IC) e Taxa de Consistência (CR) foram calculados de acordo com as equações e dados apresentados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente. A Taxa de Consistência deve ser menor que 10%, indicando consistência nos valores da matriz e não havendo necessidade de reavaliar as comparações (SAATY, 1990).

Tabela 6 - Equações Para a Determinação da Taxa de Consistência.

Equações Para a Determinação da Taxa de Consistência	Legenda
Equação 1 - Vector de Eigen $\lambda_{Max} = \frac{D}{N}$	$\lambda_{Max}$ – Vetor de Eigen D – Pesos dos Fatores N – Valor de soma da coluna do fator
Equação 2 - Índice de Consistência $CI_{Aproximado} = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1}$	$CI_{Aproximado}$ – Índice de Consistência n – Número total de critérios
Equação 3 - Taxa de Consistência $CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \sim 10\%$	CR – Taxa de Consistência CI – Índice de Consistência RI – Índices de Consistência Aleatório

Fonte: Autor (2022)

A Tabela abaixo apresenta valores de Índices de Consistência Aleatória (RI) que são valores fixos e tem como base o número de critérios avaliados dependendo do autor.

Tabela 7 - Tabela de Índices de Consistência Aleatória (RI).

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Fonte: SAATY (2008)

### **2.8.2. Máxima Entropia (MaxEnt)**

Para construir o mapa de adequabilidade de habitat foi usado o algoritmo de máxima entropia (MaxEnt), um método para realizar predição ou inferências baseadas apenas em dados de presença (PHILIPS et al., 2006), utilizando o software *Maximum Entropy Species Distribution Modelling*, disponível gratuitamente, versão 3.4.4 ([http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent)).

O MaxEnt gera modelos de adequabilidade de habitat baseados em distribuições conhecidas e na série de dados ambientais da área estudada. Este método vem sendo usado desde 2004 na modelagem de distribuição de espécies, estimando a probabilidade de adequação do habitat onde é possível a ocorrência da espécie, encontrando a distribuição de probabilidade de máxima entropia (mais próxima do uniforme), que é sujeita a um conjunto de restrições, no qual os valores esperados em cada feição (variáveis ambientais) devem corresponder à suas médias observadas nas amostras (PHILLIPS et al., 2006; ELITH et al., 2011).

A importância das variáveis foi determinada pelo procedimento *Jack-kniffe*. Uma vez que esse algoritmo também fornece uma curva de resposta da contribuição de cada variável, utilizou-se o teste de *Jack-kniffe* de acordo com PHILLIPS et al. (2006) para estimar quais foram as variáveis bioclimáticas de maior contribuição no modelo. Portanto, indica quanta informação única contribui para o modelo, de maneira a melhorar ou não o mesmo.

### **2.8.3. Validação do modelo**

A validação é uma das etapas mais importantes do processo de modelagem. Sem ela, a interpretação de um modelo perde seu sentido, visto que tudo o que está representado pode estar incorreto ou com graus inaceitáveis de imprecisão (BOYCE et al., 2002). É também conhecida como teste externo e consiste da confrontação de seus resultados contra dados da distribuição da espécie que não foram utilizados pelo algoritmo no processo de modelagem.

Avaliou-se o modelo usando uma análise da Curva Operacional do Recetor (ROC), usando a Área Sob a Curva (AUC) como uma medida de adequação do modelo, onde valores maiores que 0,5 indicam que as previsões do modelo são melhores do que aleatórias. O método AUC foi popularizado como uma estatística onipotente na avaliação da precisão preditiva dos modelos de distribuição de espécies e é oferecido diretamente pelo pacote MaxEnt (PHILLIPS; DUDÍK, 2008).

O cálculo da área sob a curva (AUC) fornece uma medida única do desempenho do modelo, independente da escolha prévia de um limite de corte específico, pois a curva é construída a partir de vários limiares (cada limite de corte é responsável por um ponto da curva) e o cálculo da área sob a curva elimina então, a escolha de um limite específico (FAWCETT, 2003).

Esta área sob a curva (AUC) tem a seguinte interpretação: quanto mais próximo do valor um, ou seja, quanto mais distante o resultado do modelo for da previsão aleatória melhor o desempenho do modelo (PHILLIPS *et al.*, 2006). De um ponto de vista prático, um teste de validação pode adotar os valores de AUC a seguir como indicadores da qualidade do modelo (METZ, 1986): Excelente (1,0 - 0,9); Bom (0,9 - 0,8); Médio (0,8 - 0,7); Ruim (0,7 - 0,6); Muito ruim (0,6 - 0,5). Por tanto, enquanto o melhor modelo tem um AUC de 1, um AUC de 0,5 indica que a discriminação do modelo não é melhor do que a de um modelo aleatório.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1.1. Processo de Análise Hierárquica (AHP)

O mapa de adequabilidade de habitat produzido a partir da ponderação, pelo método AHP, apontou que 60,4% da área foi classificado como área de adequabilidade alta ou muito alta para a adequabilidade de habitat dos elefantes. Apenas 15,6% da REN, aproximadamente 6.883 Km<sup>2</sup>, foi considerado área com baixa adequabilidade e muito baixa adequabilidade para destruição dos elefantes (Figura 3). A distribuição dos elefantes verificou-se na sua maioria em locais de alta adequabilidade à muita alta adequabilidade, com alguns registos nos locais de média adequabilidade.

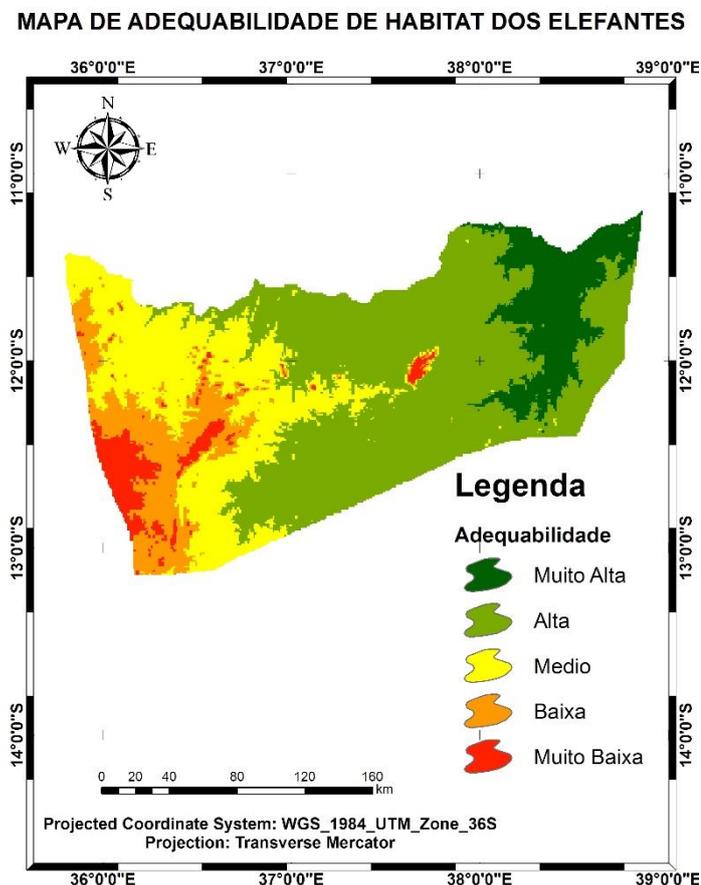


Figura 3 - Distribuição geográfica potencial do elefante (*Loxodonta africana*), com base na adequabilidade ambiental gerada pelo método AHP e pontos de ocorrência da espécie utilizados na confecção do modelo.

A ponderação, obtida pelo método AHP, apresentou uma taxa de consistência (CR) de 0.02, indicando que a matriz possui um nível aceitável de consistência sendo possível a utilização dos pesos atribuídos aos critérios (Tabela 8).

Os resultados da aplicação do método AHP, indicaram que as variáveis: Altitude, Precipitação, Distancia dos rios, Temperatura, Uso e Cobertura do Solo, Declividade e Distancia a aldeias, foram de forma decrescente, responsáveis pela distribuição dos elefantes para a REN. O maior peso foi atribuído ao fator altitude (0,36), seguido do fator precipitação (0.24), revelando que as áreas com maior altitude, baixas temperaturas e conseqüentemente maior umidade relativa apresentam ótima adequabilidade de habitat dos elefantes na REN.

Tabela 8. Matriz pareada para a REN. CR = 0.02

Variáveis	<i>ALT</i>	<i>P</i>	<i>DR</i>	<i>T</i>	<i>UCS</i>	<i>D</i>	<i>DA</i>	<i>AV</i>	<i>PF</i>
<i>ALT</i>	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00	7.00	9.00	2.66	0.36
<i>P</i>	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00	8.00	1.77	0.24
<i>DR</i>	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00	1.13	0.16
<i>T</i>	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00	0.74	0.10
<i>UCS</i>	0.17	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00	4.00	0.48	0.07
<i>D</i>	0.14	0.17	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00	0.29	0.04
<i>DA</i>	0.11	0.13	0.17	0.20	0.25	0.50	1.00	0.18	0.03
<b>SOMA</b>	<b>2.50</b>	<b>4.38</b>	<b>7.25</b>	<b>11.03</b>	<b>16.75</b>	<b>23.50</b>	<b>35.00</b>	<b>7.45</b>	<b>1.00</b>

*ALT* = altitude (m); *D* = declive (%); *P* = precipitação (mm/ano); *DR* =distâncias dos rios (km); *T*= temperatura (°C); *UCS* = Uso e Cobertura de Solo; *DA* = distancia das aldeias (km); *AV* = Auto Vetor; *PF*= Peso dos fatores.

Pela Tabela 9, a adequabilidade muito baixa obteve menor valor, representada com uma área de 1.919 km<sup>2</sup> (4.5%), a adequabilidade baixa ocupou uma área de 4.694 km<sup>2</sup> (11.1%), a adequabilidade média ocupou a área de 10.156 km<sup>2</sup> (24%) e as adequabilidades alta e muito alta cobrem áreas de 20.667 km<sup>2</sup> (48.9%) e 4.864 km<sup>2</sup> (11.5%) respectivamente. Ficou evidente que na área de estudo, a maior parte dos locais (35.687 km<sup>2</sup>) equivalendo a 84.4% da área total, são adequadas para a distribuição dos elefantes, partindo de uma adequabilidade média à adequabilidade muito alta. O que implica em predominância de áreas consideradas adequadas para ocorrência do elefante, refletindo assim nas medidas a serem tomadas com relação ao manejo e conservação destes locais.

Tabela 9 - Quantificação da adequabilidade das áreas para o Elefante Africano

Nº	Área (Km <sup>2</sup> )	Área adequada (%)	Adequabilidade
1	4.864	11,5	Muito Alta
2	20.667	48,9	Alta
3	10.156	24,0	Média
4	4.694	11,1	Baixa
5	1.919	4,5	Muito Baixa

Fonte: O autor (2022)

### 3.1.2. Máxima Entropia (MaxEnt)

O mapa preditivo da Figura 4 mostra a probabilidade de ocorrência de elefantes dentro da REN para o modelo gerado pelo método de máxima entropia (MaxEnt). Nota-se que a *Loxodonta africana* apresentou uma adequabilidade ambiental condizente com o observado por meio dos pontos de coleta, uma vez que o mapa gerado pela modelagem apresentou uma adequação na mesma região onde se localiza os dados de ocorrência da espécie. O mapa indica a probabilidade de ocorrência, onde os valores mais altos estão em cores quentes e pontos brancos a ocorrência dos elefantes.

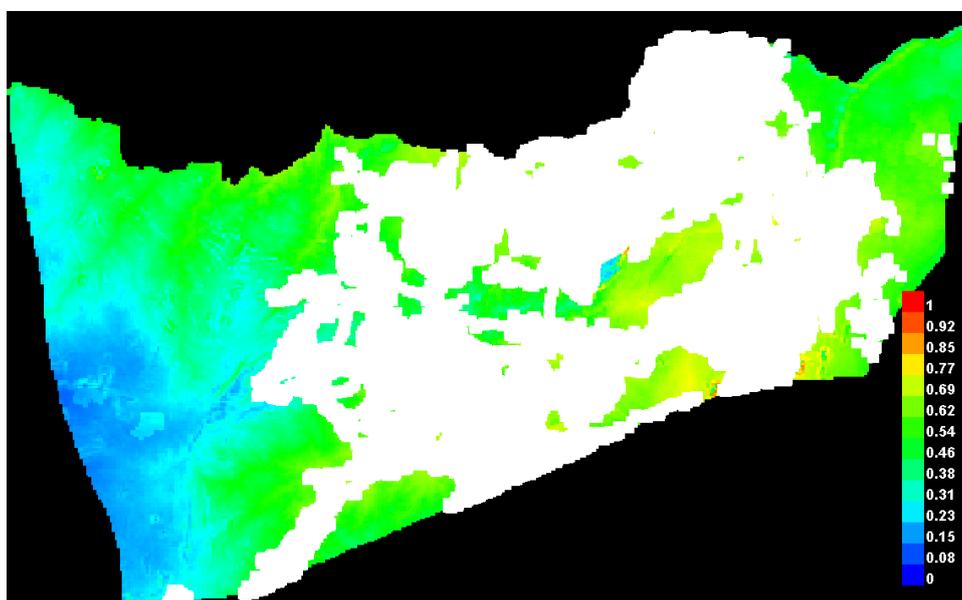


Figura 4 - Distribuição geográfica potencial do elefante (*Loxodonta africana*), com base na adequabilidade ambiental gerada por MaxEnt e pontos de ocorrência da espécie utilizados na confecção do modelo.

Os resultados da modelagem ambiental para *Loxodonta africana*, demonstram uma previsibilidade geral do modelo com o valor de AUC de 0.575 (Figura 5), representando um menor desempenho do que o esperado em um modelo aleatório.

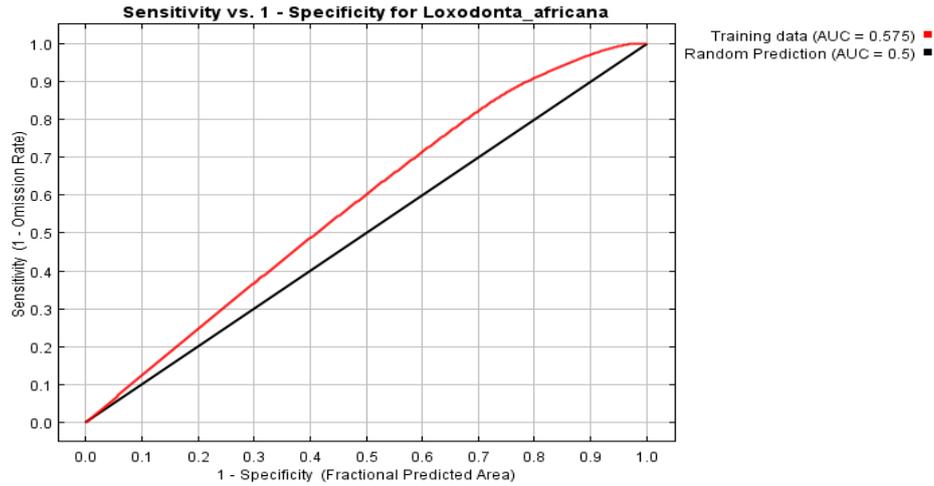


Figura 5 - Curva ROC (características operacionais do recetor)

O poder explicativo das variáveis individuais através do teste *jack-knife* demonstra que Altitude e Precipitação foram identificados como os mais importantes preditores contribuintes da distribuição de elefantes na REN (Figura 6). A Altitude contribuiu com 58,96%, a Precipitação 26,95%, a Distância aos rios 4,06% a Temperatura 3,90%, a Distância as aldeias 2,70%, o Declive 2,18%, e a Vegetação 1,25% com a menor contribuição do uso do habitat para a espécie.

A contribuição percentual de cada variável para o desempenho geral do modelo permaneceu razoavelmente consistente. No entanto, houve alguma variação na importância classificada das variáveis. Todavia, de todas as variáveis bioclimáticas incluídas no modelo, a Altitude foi a mais importante, seguida pela Precipitação (Figura 6).

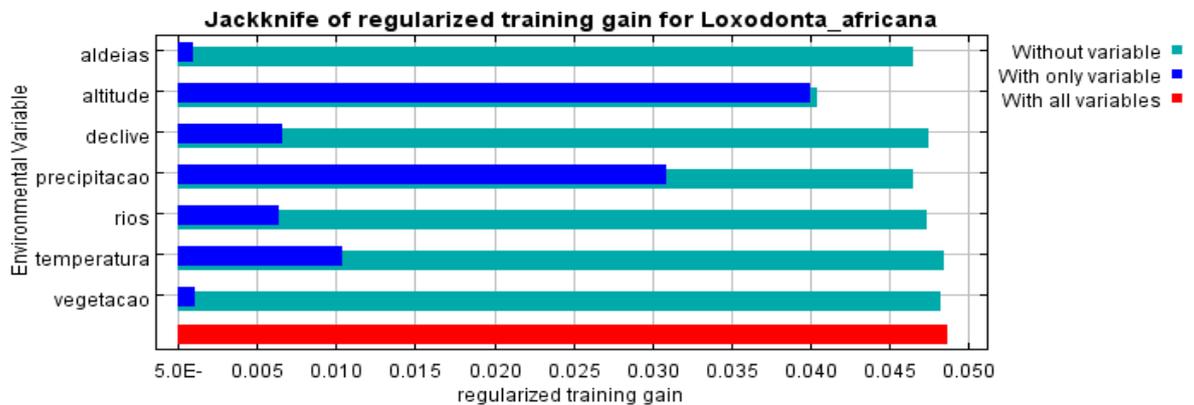


Figura 6 - Teste de *Jack-Knife* de importância das variáveis. O poder explicativo de cada parâmetro individual em relação à pontuação total da AUC é representado pela barra azul

Os elefantes tendem a ocorrer em regiões com tendências de baixa à média altitude (Figura 8a), com precipitação próxima aos 1200 mm, com menor declividade, com temperaturas mínimas de 15,1°C e máximas de 19,4°C, tendo preferência por temperaturas girando em torno de 18°C (Figura 8b). Tendem também a evitar regiões com vegetação densa, distantes das aldeias e próximas aos rios (Figura 7).

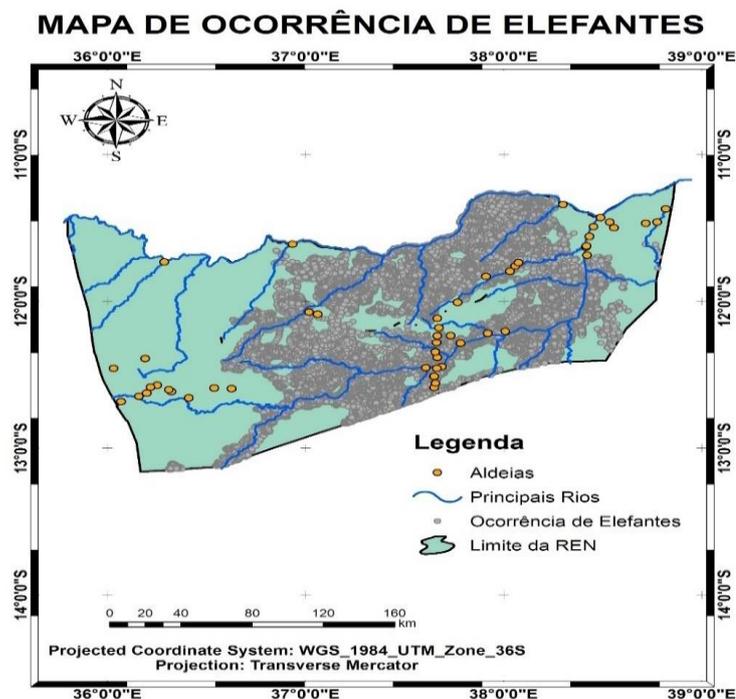


Figura 7 - Pontos de ocorrência dos elefantes na REN  
Fonte: Autor (2022)

Nos mapas gerados da região de estudo, a Altitude variou de 105 m a 1279 m, o Declive de 0 a 3%, a Temperatura média anual variou de 15,1°C a 19,4°C no sentido Oeste-Este e a precipitação média anual variou de 900 mm a 1378 mm no sentido Oeste-Este (8 6 a, b, c e d).

Para o mapa de uso e cobertura da terra obtido foram identificados na REN 9 tipos de uso e cobertura da terra, designadamente: Agricultura, Floresta Baixa Aberta, Floresta Baixa Densa, Floresta Baixa Mediamente Densa, Matagal Alto, Matagal Baixo, Matagal Médio Pradaria e Pradaria Arborizada (Figura 9a). Em relação as distâncias euclidianas calculadas para as Aldeias variaram entre 0,50 a 0,58 km (aldeias distantes) e 0 a 0,08 km (aldeias próximas). Enquanto para as distâncias euclidianas calculadas para os Rios variaram entre 0 a 0,03 km (rios próximos) e 0,50 a 0,58 km (rios distantes) (Figura 9b e c).

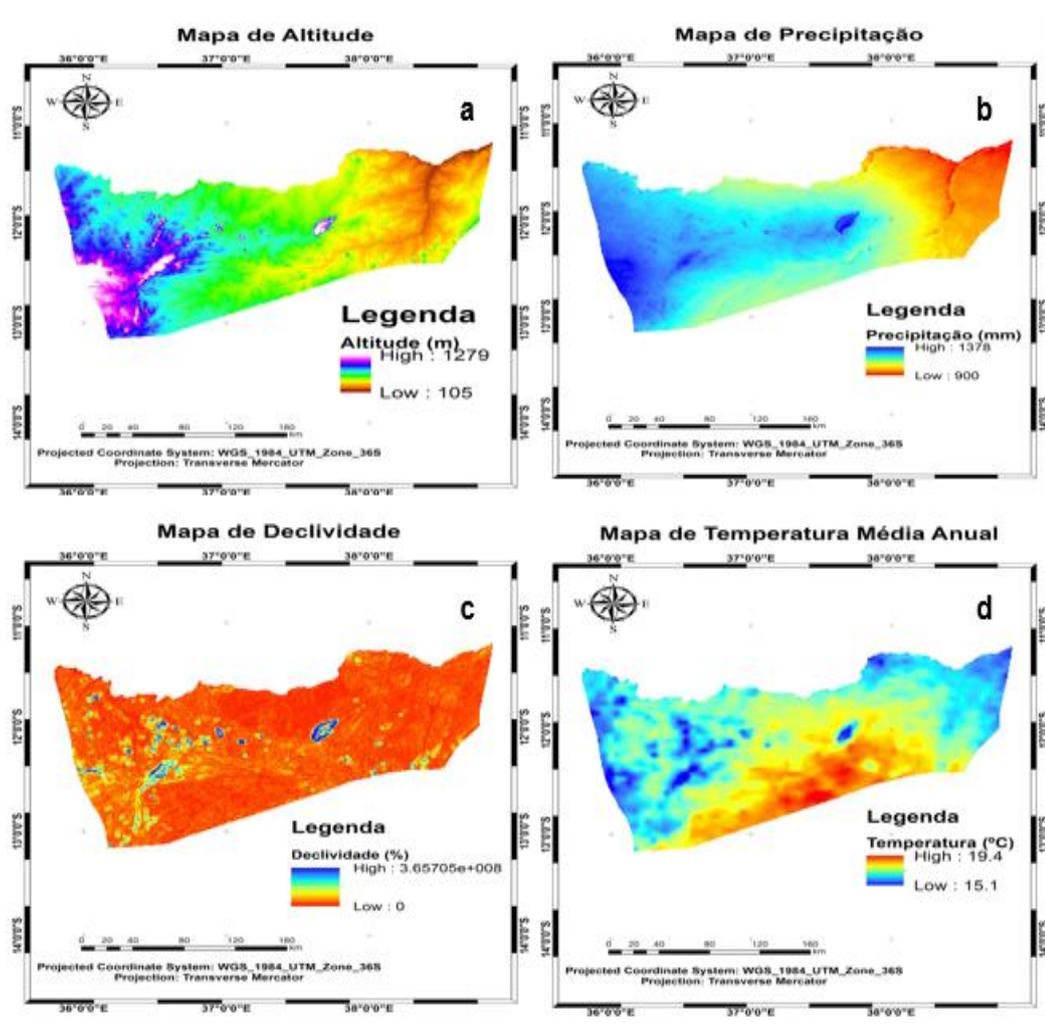


Figura 8 - Variáveis ambientais. (a) altitude, (b) precipitação, (c) declividade, (d) temperatura

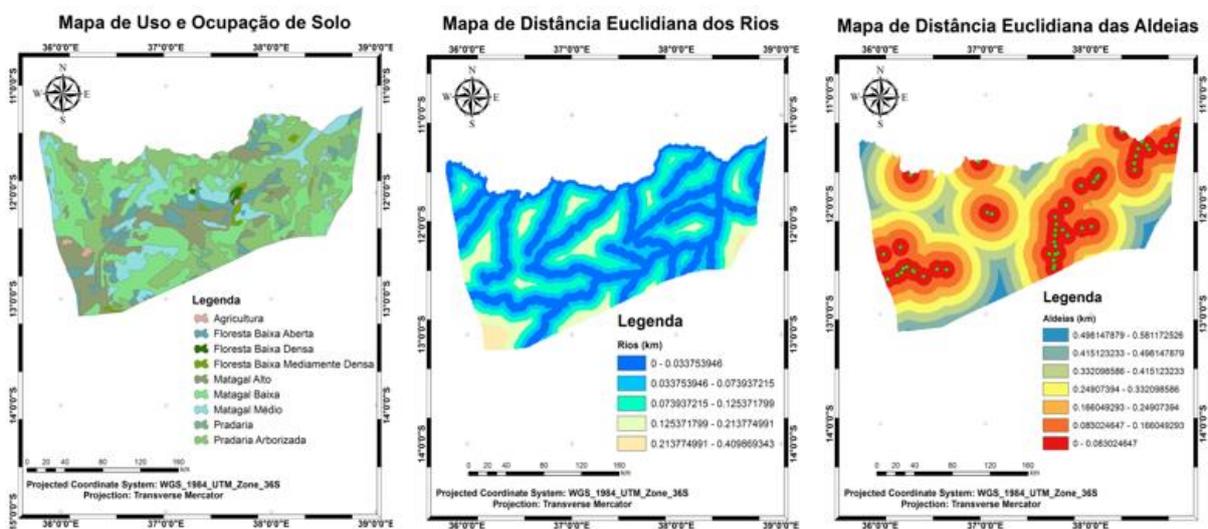


Figura 9 - Variáveis ambientais. (a) vegetação, (b) distâncias dos rios, (c) distâncias das Aldeias

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados do estudo, revelam baixa previsibilidade geral do modelo com uma pontuação de teste de característica operacional do recetor (ROC)-AUC de 0,575. Apesar disso, mesmo que alguns modelos particulares apresentem um grau considerável de incerteza, eles ainda representam uma alternativa ou um complemento para os estudos *in situ*, a fim de descrever as faixas geográficas das espécies (GASTÓN *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2017).

Nossos resultados demonstraram em ambos métodos (AHP e MaxEnt) que os fatores ambientais mais importantes que moldaram a distribuição dos elefantes na REN foram a altitude e precipitação. Estes resultados assemelharam-se aos de Williams *et al.* (2018) que os charcos, a elevação e a precipitação foram as variáveis mais importantes na previsão da ocorrência de elefantes, onde a presença de elefantes também foi associada a maiores densidades de herbívoros selvagens.

A partir dos resultados, pode-se observar que a altitude e precipitação, contribuíram mais para a modelagem e a altitude foi geralmente melhor preditor da distribuição dos elefantes. Em contraste com as distâncias dos rios, as distâncias das aldeias (Tabela 8) e a vegetação (Figura 6), foram as que tiveram uma baixa contribuição para modelar a ocorrência de elefantes no método AHP e MaxEnt, respetivamente.

A REN é coberta por floresta de miombo com uma diversidade de espécies de plantas e relevo acidentado, apresentando muitas elevações no extremo Oeste, com cobertura de árvores bastante contínua e navegação prontamente disponível. Nas florestas tropicais, a vegetação é abundante, produtiva e diversificada, e muitas vezes ocorre perto da água e entre tanto, a água é um recurso mais escasso do que a vegetação.

Os resultados demonstram que os elefantes preferem áreas de cobertura vegetal média e não preferem áreas com cobertura vegetal muito densa e são apoiados por Smit *et al.* (2007) e Matawa *et al.* (2012) que observaram que a cobertura vegetal intermediária atende às necessidades alimentares e de cobertura dos elefantes. Não surpreendentemente, as áreas de florestas com agricultura itinerante e matagal baixo, foram menos adequadas com base na disponibilidade da vegetação e, portanto, provavelmente não representam habitat adequado para elefantes. De acordo com Loarie *et al.* (2009) os elefantes procuram vegetação mais

verde durante todo o ano na savana africana e, portanto, procuram áreas arborizadas e florestas fechadas na estação seca.

A partir das Figuras 3 e 4, é evidente que as regiões de habitat adequadas mapeadas caíram completamente dentro das zonas próximas de rios na reserva. Isto confirma a importância da água e da sua disponibilidade na distribuição de elefantes, conforme demonstrado em publicações relacionadas ao nicho de elefantes (SHANNON *et al.*, 2006; NGENE *et al.*, 2009; ASHIAGBOR, 2017). No entanto, os elefantes apresentam altas taxas de perda de água por evaporação e respiração e, como resultado, bebem com mais frequência e minimizam a distância até a fonte de água mais próxima (OWEN-SMITH, 2004; TRAILL; BIGALKE, 2006; SMIT *et al.*, 2007). Os elefantes preferem áreas ribeirinhas que fornecem água, sombra e navegação de alta qualidade. Na REN, o monte Mecula representa uma importante superfície de ocorrência de chuvas, pois, é suficientemente alta para gerar chuvas orográficas nas áreas circunvizinhas gerando água que alimenta alguns rios.

Além disso, os resultados indicam que grande parte da área de estudo está próxima a fontes de água (Figura 9b). Considerando o limiar de 24 km para elefantes (OWEN-SMITH, 2004) não há problema de acesso à água para os elefantes, desde que as passagens diretas para os rios não estejam bloqueadas. Para Henley e Cook (2019) as amplitudes de movimento dos elefantes são naturalmente heterogêneas de acordo com a distribuição das águas superficiais. Ainda assim, a disponibilidade de água influencia o comportamento de forrageamento dos elefantes, pois eles se alimentam perto da água na estação seca e são menos seletivos na estação chuvosa (PITTIGLIO *et al.*, 2011) pois a água está prontamente disponível na REN.

No contexto do presente estudo, os elefantes usam seu alcance disponível de uma maneira heterogênea e podem mover-se para um local para a espécie obter alimentação específica, como folhagem, floração e / ou frutificação. Por isso, devido o seu grande tamanho do corpo e alta taxa de renovação da água, os padrões de movimento dos elefantes são influenciados de forma crucial pela disponibilidade e distribuição da água (STOKKE; DUTOIT, 2002; SHANNON *et al.*, 2009).

Os resultados evidenciam a ocorrência dos elefantes em regiões próximas das aldeias (Figura 7). Contudo, esta ocorrência deve-se ao facto de que a população procura sempre construir seus assentamentos em regiões próximas aos rios para desenvolverem suas actividades agrícolas, pesqueiras e são os mesmos rios que os elefantes usam para o seu abeberamento.

A perturbação humana torna-se uma ameaça generalizada à viabilidade da vida selvagem. Além disso, a mudança no Uso e Ocupação do Solo é um fator de perturbação bem conhecido que ameaça a viabilidade populacional da vida selvagem e pode atuar como um estressor reduzindo a disponibilidade de recursos, aumentando a competição e alterando estressores de doenças associados a mudanças na densidade populacional (BREARLEY *et al.*, 2013; TANG *et al.*, 2020).

Dado que a REN, é povoada com uma estimativa de 58.000 habitantes vivendo em 44 aldeias, com forte interface entre pessoas e vida selvagem. As aldeias estão concentradas em três áreas principais, além de algumas aldeias dispersas por quase toda a reserva. Todavia, mesmo com esta interface entre pessoas e vida selvagem, ela permanece relativamente estável, existindo boas razões para acreditar que o desenvolvimento contínuo da prática de agricultura de subsistência incluindo outras actividades como extração do mel, lenha e caça, foram os principais fatores de mudança no Uso e Ocupação do Solo (Figura 9a), diminuindo o habitat natural dos elefantes.

Nos estudos de Crooks *et al.* (2017) espécies com maior fragmentação tiveram áreas de distribuição menores e uma menor proporção de habitat de alta adequação dentro de sua área de distribuição, e a maioria dos habitats de alta adequação ocorreu fora das áreas protegidas, elevando ainda mais o risco de extinção.

Para Zacarias e Loyola (2018) com o crescente domínio humano das paisagens ao redor dos habitats dos elefantes, a necessidade de dispersão pode ser um impedimento, restringindo os elefantes às “ilhas” onde ocorrem atualmente e aumentando a probabilidade de conflitos entre humanos e animais selvagens por meio de invasões de plantações e riscos à vida e aos meios de subsistência. Parece provável que o forte efeito da perturbação humana na REN seja mediado, pelo menos em parte, pela mudança no Uso e Cobertura de Terra. Porém, segundo Lin *et al.* (2008) os elefantes por terem alta sensibilidade às actividades humanas, eles toleram

alguns níveis de perturbação e interferências humanas e para Neupane *et al.* (2019) os elefantes também evitam assentamentos humanos e encostas íngremes.

Na REN, o relevo é acidentado e com muitas elevações no extremo Oeste passando para plano a Este. A partir das Figuras 3 e 4, é evidente que as regiões ambientalmente adequadas caem predominantemente nas regiões de menor altitude da reserva (Figuras 8a), dentro de terrenos planos (Figuras 8c). Consistente com estudos semelhantes de Wall, Douglas-Hamilton, Krink e Vollrath (2006) e Ochieng (2015) a densidade de elefantes e as regiões de uso de habitat adequado foram limitadas pelo aumento da elevação e inclinação. Shannon *et al.* (2006) explicaram que os elefantes evitam áreas de alta altitude e encostas íngremes devido ao risco de lesões. Além disso, para otimizar suas necessidades energéticas. Ntumi *et al.* (2005) postularam que os elefantes evitam regiões de maior altitude e encostas íngremes.

É notório que as faixas de temperatura e precipitação onde ocorreram os elefantes, variou no intervalo de 15.1°C a 19.4°C (Figura 8d), e 1000mm e 1200 mm (Figura 8b), respetivamente. Para WWF (2018), temperaturas mais quentes e menos chuva, bem como um aumento projetado em períodos de seca severa, terão um efeito direto no tamanho das populações de elefantes, pois, estas populações são limitadas pela disponibilidade de água e comida.

No estudo realizado por Galanti *et al.* (2006) os elefantes evitaram a floresta aberta na estação seca, mas este não foi o caso durante a estação chuvosa, onde os restantes habitats foram utilizados de acordo com a sua disponibilidade. Assim, em ambas as estações, os elefantes foram encontrados principalmente em savanas, savanas com árvores, arbustos abertos e fechados.

Pouco pode ser deduzido dos resultados da distribuição de elefantes em relação à inclinação do terreno, uma vez que a ocorrência dos elefantes se verificou em regiões planas e ligeiramente ondulada, com exceção das regiões montanhosas (Figura 3, 4 e 8c). Isto é corroborado pelos estudos de Matawa *et al.* (2012) que concluíram que o elefante teve alta percentagem de observações (87%) em áreas com encostas suaves (0-5°). Ainda assim, a altitude e a inclinação podem influenciar a distribuição sazonal de elefantes em escala local (PITTIGLIO *et al.*, 2011).

Todavia, isto demonstra que o terreno também pode afetar diretamente os movimentos dos elefantes, impondo custos energéticos consideráveis nas viagens. Por sua vez, na REN, isso pode se tornar um problema quando a perturbação humana se expandir para ocupar a maioria das encostas suaves disponíveis.

Os habitats mais adequados estão dentro da atual extensão de ocorrência de elefantes, o que cria grandes oportunidades para sua conservação, especialmente na região Central e Sudeste da REN (Figura 3 e 4). Tais áreas adequadas para a distribuição de elefantes são ligeiramente onduladas e estão associadas à ocorrência nas proximidades dos rios, ocorrência de formações florestais do tipo Matagal alto; Pradaria arborizada; Floresta baixa aberta; Pradaria, Matagal médio e Floresta baixa medianamente densa e também de menor perturbação humana nesses locais. Já nas extremidades das regiões Oeste e Sudoeste, apresentam menor potencial de distribuição dos elefantes, por serem áreas com menor cobertura vegetal, muito distantes dos rios, próximas aos assentamentos humanos e por apresentarem um relevo acidentado com muitas elevações.

O mapa de adequabilidade de habitat no método AHP apontou que 84,4% da área da REN são áreas com adequabilidade média, alta e muito alta para distribuição de elefantes, número satisfatório e condizente com o estudo. Vale dizer que em ambos métodos (AHP e MaxEnt) a área da REN como um todo, apresenta uma ótima adequabilidade para ocorrência do elefante africano, embora existam áreas de menor adequabilidade (6.613 km<sup>2</sup>) equivalente a 15,6% da área total. Por conseguinte, as distribuições dos elefantes podem ocorrer na maior parte da REN e se propagar para estas áreas de adequabilidade muito baixa, quando existir indisponibilidade de recursos alimentares (água e comida). Dessa forma, fica evidente a necessidade de se ter a atenção voltada à fiscalização e manejo, principalmente nessas regiões de maior potencialidade à ocorrência de elefantes.

O estudo demonstrou que em ambos métodos (AHP e MaxEnt), os resultados dos mapas de adequabilidade de habitat dos elefantes na REN, não diferiram muito com exceção nas percentagens de contribuição das variáveis e locais com adequabilidade muito alta (Figura 3 e 4). Contudo, são métodos flexíveis, de fácil implementação produzindo mapas contendo soluções adequadas para realizar modelagem de adequabilidade ambiental, desde que as análises sejam realizadas com uma base de dados fidedignas para que a determinação dos critérios e seus

respectivos pesos sejam realizados de forma correta no Processo de Análise Hierárquica (AHP).

Este estudo destaca a importância da modelagem da adequabilidade ambiental para a fauna nas áreas de conservação e sugere que a proteção de grandes paisagens seria um mecanismo eficaz para garantir a disponibilidade de recursos, reduzir a pressão sobre os ecossistemas e garantir que populações de elefantes se mantenham nos seus habitats naturais. Pois quanto maior a paisagem protegida maior a disponibilidade de recursos alimentares para a espécie.

Pelo facto dos habitats adequados disponíveis para elefantes na REN, estarem dentro da atual extensão de ocorrência de elefantes, sugerem-se suas conservações, por forma a evitar uma maior degradação dos mesmos e garantir a manutenção da população dos elefantes. Também há necessidade de promover esforços de educação ambiental e reflorestamento nas áreas com interferências humanas para a manutenção de pastagens e corpos de água.

Tendo sido identificado a expansão da área de cultivo como a principal ameaça à cobertura vegetal, enfatiza-se a regulamentação do cultivo como chave para a manutenção de uma cobertura vegetal adequada que possa fornecer alimento, cobertura e abrigo para a vida selvagem, embora das variáveis ambientais analisadas para o modelo gerado nos dois métodos, ela teve menor contribuição relativa para o desempenho do modelo.

No geral, recomenda-se um equilíbrio entre a demanda humana por assentamento e terras de cultivo com elefantes. Isso pode reduzir os conflitos entre humanos e elefantes (HEC). É necessário pesquisas contínuas sobre distribuição de espécies animais e seus habitats. A este respeito, recomenda-se o uso de Modelagem de Distribuição de Espécies que ajudará a orientar na tomada de decisões das prioridades estratégicas para a conservação da fauna. Contudo, mais estudos são necessários para identificar eventuais melhorias de desempenho do modelo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, P. G. The Great Elephant Census Report. 2016.
- ALLAN, J.; GROSSMANN, F.; CRAIG, R.; NELSON, A.; MAINA, J.; FLOWER, K.; BAMPTON, J.; DEFFONTAINES, J.B.; MIGUEL, C.; ARAQUECHANDE, B.; et al. Patterns of Forest Loss in One of Africa's Last Remaining Wilderness Areas: Niassa National Reserve (Northern Mozambique). **Parks**, v.23, n.2, p. 39–50, 2017.
- ASHIAGBOR, G. D. E. Seasonal habitat use by Elephants (*Loxodonta africana*) in the Mole National Park of Ghana. **Ecology and Evolution**, v.7, n.1. p. 1-12, 2017.
- ANDERSON, R. P.; GÓMEZ-LAVERDE, M.; PETERSON, A. T. Geographical distributions of spiny pocket mice in South America : Insights from predictive models. **Global Ecology and Biogeography**, v.11, n.2, p. 131-141, 2002.
- BARBARO, L. U. C.; DUTOIT, T.; COZIC, P. A six-year experimental restoration of biodiversity by shrub-clearing and grazing in calcareous grasslands of the French Prealps. **Biodiversity and Conservation**, v.10, n.1, p. 119-135, 2001.
- BLAKE, S.; DEEM, S.L.; STRINDBERG, S.; MAISELS, F.; MOMONT, L.; Iliia, I., Douglas-HAMILTON, I.; KARESH, W.B.; KOCK, M.D. Roadless wilderness area determines forest elephant movements in the Congo Basin. **PloS Biology**. v.10, n.10, p.1-9, 2008.
- BOYCE, M.S.; VERNIER, P.R.; NIELSEN, S.E.; SCHMIEGELOW, F.K.A. Evaluating resource selection functions. **Ecological Modelling**, v.157, n.2, p. 281-300, 2002.
- BREARLEY, G.; RHODES, J.; BRADLEY, A.; BAXTER, G.; SEABROOK, L.; LUNNEY, D.; Liu, Y.; MCALPINE C. Wildlife disease prevalence in human-modified landscapes. **Biological Reviews**, v.88, n.2, p. 427-442, 2013.
- CARNAVAL, A.C.; MORITZ, C. Historical climate modelling predicts patterns of current biodiversity in the Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Biogeography**, v.35, n.7, p.1187-1201, 2008.
- CHASE, M.J., SCHLOSSBERG, S., GRIFFIN, C.R., BOUCHÉ, P.J.C., DJENE, S.W., ELKAN, P.W., FERREIRA, S., GROSSMAN, F., KOHI, E.M., LANDEN, K., OMONDI, P., PELTIER, A.; SELIER, S.A.J.; SUTCLIFFE, R. Continent-wide survey reveals massive decline in African savannah elephant. **Peer J**, v.4, n.2345, p. 1-15, 2016.

CRAIG, G.C. Aerial Survey of Wildlife in the Niassa Game Reserve. Sociedade para a Gestão e Desenvolvimento da Reserva do Niassa (SGDRN), Moçambique, Maputo, 2011.

CROOKS, K. R.; BURDETT, C.L; THEOBALD, D. M.; DI MARCO, M.; RONDININI, C.; BOITANI, L. Quantification of habitat fragmentation reveals extinction risk in terrestrial mammals. **Proceeding of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 29, p. 7635–7640, 2017.

CUNLIFFE, R.; MANDONDO, A.; GAMES, I.; NGARIVHUME, J.; DORÉ, D. Reconciling conservation goals with agriculturally based livelihoods. A proposal for future development of the Niassa National Reserve and surrounding areas. Imperial Tobacco Project, Harare, Zimbabwe, 2009.

DIAS, E. M. P. S. **Modelo de apoio à decisão multicritério para seleção de fornecedores de azeite**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Economia da Universidade de Porto, Porto, 2015.

DIAS, M. A.; SIMÓ, M.; CASTELLANO, I.; BRESCOVIT, A. D. Modelling distribution of *Phoneutria bahiensis* (Araneae: Ctenidae): an endemic and threatened spider from Brazil. **Zoologia**, v.28, n 4, p.432–439, 2011.

DOUGLAS-HAMILTON, I.; KRINK, T.; Vollrath, F. Movements and corridors of African elephants in relation to protected areas. **Naturwissenschaften**, v.92, n.4, p.158-163, 2005.

ELITH, J.; GRAHAM, C. H. Do they? How do they? WHY do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models. **Ecography**, v. 32, n. 1, p. 66–77, 2009.

ELITH, J; PHILLIPS, S.J.; HASTIE, T.; DUDIK, M.; CHEE, Y.E.; YATES, C.J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v.17, n.1, p. 43-57, 2011.

FAWCETT, T. ROC graphs: Notes and practical considerations for researchers. **Pattern Recognition Letters**, v.31, n.8, p. 1-38, 2003.

FERREIRA, A. S. et al. Elephant population biology and ecology. Elephant management: a scientific assessment for South Africa. p. 84-145, 2007.

FICK, S.E.; R.J. HIJMANS. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v.37, n.12, p.4302-4315, 2017.

GADD, M. E. Conservation outside of parks: Attitudes of local people in Laikipia, Kenya. **Environmental Conservation**, v.32, n.1, p. 50–63, 2005.

GALANTI, V.; PREATONI, D.; MARTINOLI, A.; WAUTERS, L. A.; TOSI, G. Space and habitat use of the African elephant in the Tarangire–Manyara ecosystem, Tanzania: Implications for conservation. **Mammalian Biology**. v.71, n.2, p. 99 –114, 2006.

GASTÓN, A.; GARCIA-VINAS, J.I.; BRAVO-FERNANDEZ, A.J.; LOPEZ-LEIVA, C.; OLIET, J. A.; ROIG, S.; SERRADA, R. Species distribution models applied to plant species selection in forestrestoration: are model predictions comparable to expert opinion? **New Forests**. v.45, n.5, p. 641–653, 2014.

GOMEDE, E.; BARROS, R. Utilizando o Método Analytic Hierarchy Process (AHP) para Priorização de Serviços de TI: Um Estudo de Caso. In *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, Porto Alegre: SBC, p. 679-690, 2012.

GROSS, E. M.; PEREIRA, J. G.; SHABA, T.; BILÉRIO, S.; KUMCHEDWA, B.; LIENENLUKE, S. Exploring Routes to Coexistence: Developing and Testing a Human Elephant Conflict-Management Framework for African Elephant-Range Countries. **Diversity**. v.14, n.1, p.525, 2022.

GUIBAN, A.; LEHMANN, A.; FERRIER, S.; AUSTIN, M.; OVERTON, J.M.C.; ASPINALL, R.; HASTIE, T. Making better biogeographical predictions of species' distributions. **Journal of Applied Ecology**. v. 43, n.1, p. 386-39, 2006.

GOBUSH, K. S.; EDWARDS, C.T.T.; BALFOUR, D.; WITTEMYER, G.; MAISELS, F.; TAYLOR, R. D. *Loxodonta africana* (versão alterada da avaliação de 2021). A Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN 2021.disponível em :< <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021- 2>> Acesso em: 04 de junho de.2021.

GOBUSH, K. S., MUTAYOBA, B. M.; WASSER, S. K. Long-term impacts of poaching on relatedness, stress physiology, and reproductive output of adult female African elephants. **Conservation Biology**, v. 22, n.6, p. 1590–1599, 2008.

GRAHAM, M. D.; NOTTER, B.; ADAMS, W. M.; LEE, P. C.; OCHIENG, T. N. Patterns of crop-raiding by elephants, *Loxodonta africana*, in Laikipia, Kenya, and the

management of human–elephant conflict. **Systematics and Biodiversity**, v.8, n.4, p. 435-445, 2010.

HENLEY, M.D.; COOK, R. M. The management dilemma: Removing elephants to save large trees', **Koedoe**, v.61, n.1, p.1-12, 2019.

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES 7). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services, Paris, 2019.

JUVANHOL, R. S. et al. Análise Espacial de Fragmentos Florestais: Caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 353-364, 2011.

KADZO, K. Studying Elephants. African Wildlife Foundation, Nairobi, Kenya, 1996.

LIN, L.; FENG, L.; PAN, W.; GUO, X.; ZHAO, J.; LUO, A.; ZHANG, L. Habitat selection and the change in distribution of Asian elephants in Mengyang Protected Area, Yunnan, China. **Acta Theriologica**, v. 53, n.4, p.365-374, 2008.

LOARIE, S. R.; Van AARDE, R. J.; PIMM, S.L. Elephant seasonal vegetation preferences across dry and wet savannas. **Biological Conservation**, v. 142, n.12, p.3099-3107, 2009.

MANHICE, C, A. **Análise das deslocações do Elefante Africano (*Loxodonta Africana*) em Função de Factores Ambientais e Actividade Humanas na Reserva Florestal de Moribane, Moçambique**. Dissertação de Mestrado, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, 2015.

MARZOLI, A. Inventário Florestal Nacional: Avaliação Integrada das Florestas de Moçambique (AIFM), Maputo, 2007.

MATAWA, F.; MURWIRA, A.; SCHMID, K. S. Explaining elephant (*Loxodonta africana*) and buffalo (*Syncerus caffer*) spatial distribution in the Zambezi Valley using maximum entropy modelling. **Ecological Modelling**, v. 242, p. 189-197, 2012.

MCCORMACK, J.E.; ZELLMER, A.J.; KNOWLES, L. L. Does Niche Divergence Accompany Allopatric Divergence In *Aphelocoma* Jays As Predicted Under Ecological Speciation? Insights From Tests With Niche Models. **Evolution**, v.64, n5, p. 1231-1244, 2009.

METZ, C.E. ROC methodology in radiologic imaging. **Investigational Radiology**, v.

21, n.9, p.720-733, 1986.

MINISTÉRIO DE ADMINISTRAÇÃO ESTATAL (MAE). Perfil do Distrito de Mecula, Província de Niassa. Maputo, Moçambique, 2005.

NEUPANE, D.; KWON, Y.; RISCH, T. S.; WILLIAMS, A. C.; JOHNSON, R. L. Habitat use by Asian elephants: context matters. **Global Ecology and Conservation**, v.17, n.1. p.1-12, 2019.

NEGRÃO, D. S. G.; NETO, L. P. Seleção das variáveis preditoras para modelagem correlativa de distribuição de espécies na américa do sul. **Oecologia Australis**, v.22, n.2, p. 117–129, 2018.

NETO, D.; BARREIROS, J.; NTUMI, C.; TEIXEIRA, P.; MATOS, Modelação da distribuição espacial potencial do elefante africano (*Loxodonta africana*) na Reserva especial de Maputo, Moçambique. in: V Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, **Conference Paper**, 2006.

NGENE, S. M.; SKIDMORE, A. K.; VAN, G. H.; DOUGLAS-HAMILTON I.; OMONDI, P. Elephant distribution around a volcanic shield dominated by a mosaic of forest savannah (Marsabit, Kenya). **African Journal of Ecology**, v. 47, p.234 - 245, 2009.

NTUMI, C. P.; AARDE, R. J.; Van FAIRALL, N.; De Boer, W. F. Use of space and habitat use by elephants (*Loxodonta africana*) in the Maputo Elephant Reserve, Mozambique. **South African Journal of Wildlife Research**, v.35, n.2, p. 139-146, 2005.

OCHIENG, E. O. Characterizing the spatial distributions of elephants in Mpala. Master Thesis, University of Twente, Kenya, 2015.

OWEN-SMITH, N. R. Functional heterogeneity in resources within landscapes and herbivore population dynamics. **Landscape Ecology**, v. 19, n.7, p.761-771, 2004.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 3, p. 231- 259, 2006.

PHILLIPS, S. J.; DUDIK, M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography**, v. 31, n.2, p.161-175, 2008.

PITTIGLIO, C.; SKIDMORE, A. K.; VAN, G. H.; PRINS, H. H. T. Identifying transit corridors for elephant using a long time-series. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 14, n.1, p.61-72, 2011.

RIPPLE, W. J. et al. World Scientists ' Warning to Humanity : A Second Notice. **BioScience**, v. 67, n.12, p.1026-1028, 2017.

SAID, M.Y.; CHUNGE, R.N.; CRAIG, G.C.; THOULESS, C.R.; BARNES, R.F.W.; DUBLIN, H.T. African Elephant Database. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission No. 11. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, p. 225, 1995.

SAATY, T. L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. **International Journal of Services Sciences**, v.1, n.1, p. 83-98, 2008.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n.1, p. 9-26, 1990.

SHANNON, G.; PAGE, B.; SLOTOW, R.; DUFFY, K. J. African elephant home range and habitat selection in Pongola Game Reserve, South Africa. **African Zoology**, v.41, n.1, p.37–44, 2006.

SHANNON, G.; MATTHEWS, W. S.; PAGE, B. R.; PARKER, G. E.; SMITH, R. J. The effects of artificial water availability on large herbivore ranging patterns in savanna habitats: A new approach based on modelling elephant path distributions. **Diversity and Distributions**, v.15, n.5, p.776–783, 2009.

SMIT, I.P.J.; GRANT, C.C.; WHYTE, J.J. Landscape-scale sexual segregation in the dry season distribution and resource utilization of elephants in Kruger National Park, South Africa. **Diversity and Distribution** 13, 225–236, 2007.

SOBERÓN, J.; PETERSON, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. **Biodiversity Informatics**. v. 2, p. 1-10, 2005.

Sociedade de Gestão e Desenvolvimento da Reserva de Niassa (SGDRN). Plano de maneio da Reserva Nacional de Niassa, Maputo, 2005.

STOKKE, S; DU TOIT, J.T. Sexual segregation in uso do habitat por elefantes no Parque Nacional de Chobe, Botswana. **African Journal of Ecology**.v.40, n.4, p.360–371, 2002.

TANG, R.; LIW, Z.; SHANG, X.; GUO, X.; ZHANG, L. Raging elephants: effects of human disturbance on physiological stress and reproductive potential in wild Asian elephants. **Conservation Physiology**, v. 8, n.1, p. 1-13, 2020.

TARKESH, M.; JETSCHKE, G. Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 19, n. 3, p.437-457, 2012.

TERRIBILE, L. C. et al. Areas of Climate Stability of Species Ranges in the Brazilian Cerrado : Disentangling Uncertainties Through Time. **Natureza e Conservacao**, v.10, n.2. p. 152-159, 2012.

TIMBERLAKE, J. *Botanical Survey of the Niassa Reserve, Mozambique; Prepared for Sociedade para a Gestão e Desenvolvimento da Reserva do Niassa Moçambique*, 2004.

TRAILL, L. W.; BIGALKE, R. C. A presence-only habitat suitability model for large grazing African ungulates and its utility for wildlife management. **African Journal of Ecology**, v. 45, n.3, p. 347–354, 2006.

UNEP, C.; IUCN, T. Elephants in the dust-the African Elephant crisis: A rapid response assessment. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2013.

VIEIRA, F. **Um modelo multicritério para gerir conflitos na composição de aspecto**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de ciências e tecnologia da universidade nova de Lisboa, Lisboa, 2006.

WALL, J.; DOUGLAS-HAMILTON, I.; VOLLRATH, F. Elephants avoid costly mountaineering. **Current Biology**, v.16, n.14, p. 527–529, 2006.

WILLIAMS, H. F.; BARTHOLOMEW D. C.; AMAKOBE B.; GITHIRU, M. Environmental factors affecting the distribution of African elephants in the Kasigau wildlife corridor, SE Kenya. **African Journal Ecology**, v.56, n.2, p. 244–253, 2018.

WILLIAMS, J. N.; SEO, C. W.; THORNE, J.; NELSON. J. K.; ERWIN, S.; O'BRIEN, J.M.; SCHWARTS, M. W. Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. **Diversity and Distributions**, v. 15, n. 4, p. 565–576, 2009.

WITTEMYER, G.; NORTHRUP, J. M.; BLANC, J.; Douglas-HAMILTON, I.; OMONDI, P.; Burnham, K. P. (2014). Illegal killing for ivory drives global decline in African

elephants. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.111, n.36, p. 13117-13121, 2014.

W. W. F. Abordagem estratégica para o combate ao tráfico ilegal de fauna e caça furtiva de elefantes e rinocerontes, Moçambique. 2014.

WWF. Vida selvagem em mundo cada vez mais quente: Os efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade em áreas prioritárias do WWF, Brasil. p.24-25, 2018

ZACARIAS, D.; LOYOLA, R. Distribution modelling and multi-scale landscape connectivity highlight important areas for the conservation of savannah elephants. **Biological Conservation**, v. 224, n.1, p.1-8, 2018.

ZHANG, M.G.; ZHOU, Z. K.; CHEN, W.Y.; SLIK, F. Using species distribution modelling to improve conservation and land use planning of Yunnan, China. **Biological Conservation**, v. 153, p. 257–264, 2012.

ZHANG, J.; LI, S. A Review of Machine Learning Based Species' Distribution Modelling, in: 2017 International Conference on Industrial Informatics – Computing Technology, Intelligent Technology, Industrial Information Integration (ICIICII), IEEE, 2017.