



Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre

Culminação dos Estudos II

Trabalho de Investigação

**Estado de Conservação e Distribuição Potencial de uma espécie de planta  
endêmica “*Warneckea sessilicarpa*” em Moçambique**

**Autora:** Amado, Fernanda Inácio



Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre

Culminação de Estudos II

Trabalho de Investigação

**Avaliação do Estado de Conservação e Distribuição Potencial de uma espécie de planta endêmica “*Warneckea sessilicarpa*” em Moçambique**

**Autor:**

Amado, Fernanda Inácio

**Supervisor:**

Prof.<sup>a</sup> Doutora Alice Massingue

**Co-Supervisor:**

Doutor. Hugo Mabilana

Maputo, Outubro de 2024

## **Agradecimentos**

A realização desta tese não teria sido possível sem o apoio de algumas pessoas a quem gostaria de expressar o meu agradecimento:

A Yahweh meu Deus pelo dom da vida e encorajamento em todas as fases da redação desta tese.

A minha orientadora Professora Doutora Alice Massigue, por todo apoio e disponibilidade demonstrados ao longo desse trabalho. Agradeço ainda todos os ensinamentos na área de Botânica, as sugestões, críticas e paciência.

Ao meu co-orientador, Doutor Hugo Mabilana, pela sua disponibilidade e acompanhamento efectuado, agradeço ainda todos os ensinamentos na área de SIG, as sugestões, críticas e paciência. O seu interesse e as pertinentes sugestões que muito contribuíram para o enriquecimento e para a forma final desta tese.

Aos meus colegas e amigos da ecologia de paisagem pelo incentivo e partilha de informação científica útil para redação desta tese, Agostinho, Pamela, Marcelo, Erica, Adilia, Marlon, Keite, Natália, Celeste, Odethe, Xenis, e o Sr João.

Ao corpo geral de docência do departamento de ciências biológicas pelo grande trabalho de incentivo na investigação científica em especial ao professor Cornélio Ntumi, Célia Macamo, Aidate Mussagy, Salomão Bandeira, Bernardo Muatinte, Maria Scarlt Perpétua, Daniela Abreu, Sónia Guilundo, Angelina Martins, Hugo Mabilana, Silvia Langa e Alice Massingue.

As minhas queridas amigas pelo encorajamento e orações: Inês, Saquina, Amélia, Luisa, Sufelna, Lúcia, Latifa, Wilma, Angela, Marcela, Florinda, Rosita, Norda, Roberta, e Bernardethe.

E por fim uma palavra de apreço e carinho a minha família especialmente ao meu irmão Nuro Amado que investiu todo recurso financeiro e apoio emocional para realização desta tese. Aos meus queridos e amados irmãos: Nuro Amado, Tacio Amado, Jone Amado, Alexandre Amado, Suzana Amado e Amado Amado.

## **Declaração de honra**

Eu, Fernanda Inácio Amado declaro por minha honra que a presente Tese de Licenciatura foi realizada por mim, fruto do desempenho e sacrifício por mi realizado e com base em dados secundários obtidos no âmbito do projecto (Population Ecology Assessment), coordenado pela professora Alice Massingue em uma expedição da Biodiversidade patrocinada pelo “Fundo de Conservação de Espécies Mohamed Bin Zayed” em 2022, na qual foi conduzida de Moebase, na província da Zambézia, até Mossuril, na província de Nampula, onde a espécie foi pesquisada. Nunca foi apresentado na sua essência para obtenção de qualquer grau, estando referênciadas no decurso do texto, as fontes consultadas que utilizei para sua realização.

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho ao meu querido irmão Nuro Inácio Amado pelo apoio incondicional e por ter acreditado em mi.

Esperei com paciência no Senhor, e ele se inclinou para mim, e ouviu meu clamor (Salmos 40:1).

## Resumo

Em Moçambique estima-se que aproximadamente 50% das espécies endêmicas foram avaliadas pelos critérios da Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN). Algumas encontram-se ameaçadas, sendo que os factores por trás da possível extinção são: a perda e degradação do habitat impulsionada pelo alto crescimento da população humana e consequente aumento da demanda por terra que colocam uma pressão crescente sobre os habitats naturais. Os objectivos do estudo são: avaliar o risco de extinção da *Warneckea sessilicarpa* pelos critérios da IUCN e construir modelos de distribuição potencial da espécie (*MaxEnt*) a partir de novos dados de ocorrência conjuntamente com as variáveis ambientais. A espécie foi anteriormente classificada como Criticamente em Perigo (CR) pelo critério B - CR B1ab (iii,v) com EOO e AOO estimada em 20 km<sup>2</sup> e 7.306 km<sup>2</sup>. A existência de novos dados de ocorrência justificaram a sua (re) avaliação, usando o critério de abrangência geográfica estabelecida pela IUCN e os resultados gerados pelos modelos de distribuição de espécies (*ArcGis versão 10.8* e o *Software MaxEnt* que necessita apenas de dados de presença). A extensão de ocorrência (EOO) foi estimada aplicando o método de Mínimo Polígono Convexo (MCP) e o método padrão de grade de 2 km x 2 km para a determinação da área de ocupação (AOO). Com os novos dados de ocorrência a espécie alterou sua classificação para Em Perigo (EN) com EOO e AOO estimada em 8.884,9 km<sup>2</sup> e 52.676 km<sup>2</sup> respectivamente. Esses resultados adicionados aos modelos gerados pelo MaxEnt produziram com precisão a actual área de habitat adequada para a espécie, o desempenho do modelo de distribuição da *Warneckea sessilicarpa* foi satisfatório, com o valor da área abaixo da curva (AUC) de 0.983, com nicho potencial estimado de 1.371,52 km<sup>2</sup>. Considerando o conjunto de 14 variáveis ambientais, o teste de *jackknife* indicou que a precipitação do trimestre mais seco (Bio\_17) foi a variável ambiental de maior importância relativa para modelagem de distribuição da espécie, com uma contribuição individual de 30.9 %. O estudo confirmou que a qualidade e a quantidade de dados constitui uma abordagem efectiva na precisão da avaliação da categoria de ameaça dessa espécie sob os critérios da Lista Vermelha da IUCN e que modelos desenvolvidos constituem uma ferramenta essencial para compreender a adequabilidade relativa do habitat ocupado pela espécie e a distribuição potencial da espécie na região costeira das províncias de Zambézia e Nampula.

**Palavras-chaves:** Centro de Endemismo Rovuma, *Warneckea sessilicarpa*, Modelo de Distribuição Potencial, Lista Vermelha da IUCN, MaxEnt.

## **Lista de abreviaturas e símbolos**

°C- graus Celsius

%- Percentagem

Km- quilómetro

Km<sup>2</sup>- quilómetro quadrado

m- metro

AUC- Cálculo da Área sob a Curva

AOO- Área de Ocupação

CSV- Valores Separados por Vírgulas

CR- Criticamente em Perigo

DD- Dados Dificentes

EOO- Extensão de Ocorrência

EN- Em Perigo

GBIF- Agência Global para a Informação sobre Biodiversidade

GPS- Sistema de Posicionamento Global

IUCN- União Internacional para Conservação da Natureza

MAXENT- Modelagem de Entropia Máxima

MBZ- Mohammed Bin Zayed

MCP- Mínimo Polígono Convexo

MDE- Modelagem de Distribuição de Espécie

MEA - Millennium Ecosystem Assessment

LC - Pouco Preocupante

LMA- Herbário Nacional de Moçambique

LMU- Herbário da Universidade Eduardo Mondlane

PCA- Análise dos Componentes Principais

ROC- Curva Característica de Operação

SIG- Sistema de Informação Geográfica

SOILGRIDS- Informações Globais sobre Solo em Grade

VU - Vulnerável

WGS- Sistema Geodésico Mundial

WORLDCLIM- Clima Mundial

## Lista de Figuras

<b>Figura 1:</b> Mapa do Centro de Endemismo Rovuma .....	20
<b>Figura 2:</b> Foto: Alice Massigue, 2022 .....	23
<b>Figura 3: Figura 1:</b> (A) Ilustra uma Floresta costeira típica e (B) um indivíduo adulto de <i>Warneckea sessilicarpa</i> mostrando frutos imaturos. Foto: Alice Massingue, 2022 .....	25
<b>Figura 4:</b> Pressão do habitat pelo cultivo da castanha de caju no distrito de Angoche Foto: Alice Massingue, 2022.....	27
<b>Figura 5:</b> Habitat da espécie perdido com o estabelecimento de vilas de pescadores Foto: Alice Massingue, 2022 .....	27
<b>Figura 6:</b> Habitat desmatado para fins agrícolas. Foto: Alice Massingue, 2022 .....	27
<b>Figura 7:</b> Diagrama do trabalho e programas informáticos usados no processamento mostrando os componentes da modelagem de distribuição da espécie .....	45
<b>Figura 8:</b> Extensão de ocorrência (EOO) gerado a partir de dados provêníentes do GBIF ...	46
<b>Figura 9:</b> Extensão de ocorrência (EOO) gerado a partir de novos dados .....	47
<b>Figura 10:</b> No ponto A ( A. Ocorrências provêníente do GBIF) encontra-se a área de ocorrência AOO gerado a partir de dados provêníentes da GBIF e no segundo ponto B (B.Novas Ocorrências ) encontra-se a área de ocorrência AOO gerado a partir de novos dados.....	48
<b>Figura 13:</b> Mapa de distribuição potencial da <i>Warneckea sessilicarpa</i> onde a cor azul evidência a presença da espécie indicada pelo número 1, a cor amarela significa que existe uma probabilidade e condições de ocorrência da espécie e a cor vermela reflete a ausência da espécie indicada pelo número 0.....	56
<b>Figura 14:</b> Curva ROC de sensibilidade versus especificidade .....	58
<b>Figura 15:</b> Gráfico de ganho de treinamento regularizado de jackknife da modelagem de distribuição potencial de <i>Warneckea sessilicarpa</i> .....	60
<b>Figura 16:</b> Contributo percentual relativo das variáveis ambientais na distribuição da espécie para o modelo Maxent. ....	61
<b>Figura 17:</b> A esquerda está o nicho ecológico da espécie estimado (mapa binário no ponto A) e a direita está a distribuição potencial no ponto B (Adequabilidade do Habitat).....	63

<b>Figura 18:</b> Imagem evidenciado o impacto da agricultura na fragmentação do habitat da espécie .....	76
<b>Figura 19:</b> Assentamento humano com um impacto forte na fragmentação do habitat da espécie.....	76
<b>Figura 20:</b> Assentamento dos Pescadores com forte pressão na fragmentação do habitat da espécie.....	77
<b>Figura 21:</b> Assentamento com um impacto forte na fragmentação do habitat da espécie.....	77

### **Lista de Tabelas**

<b>Tabela 1:</b> Descrição das ocorrências obtidas da <i>Warneckeia sessilicarpa</i> .....	34
<b>Tabela 2.</b> Descrição das variáveis bioclimáticas.....	35
<b>Tabela 3.</b> Classes das variáveis, nome de cada tipo de variável, fonte e formato .....	36
<b>Tabela 4.</b> Referente a outros parâmetros ambientais utilizados na modelagem desde a descrição dos dados abióticos, fonte, formato, e código.....	37
<b>Tabela 5.</b> Referente ao critério B da lista vermelha da IUCN, Utilizado para avaliar se a espécie em estudo pertence alguma categoria de ameaça. ....	41
<b>Tabela 6.</b> Variáveis selecionadas a partir do matrix de correlação para construção dos modelos .....	54
<b>Tabela 7.</b> Registro total de ocorrências da espécie, obtidas no GBIF.....	78
<b>Tabela 8.</b> Registro total de ocorrências da espécie, obtidas em campo .....	79

## Índice

<b>1. Introdução .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1. Objectivos .....</b>	<b>15</b>
1.2 Geral:.....	15
1.3 Especifico:.....	15
<b>2. Hipóteses.....</b>	<b>16</b>
2.1. Hipótese nula .....	16
2.2. Hipótese alternativa .....	16
<b>3. Teoria Preditiva .....</b>	<b>17</b>
<b>4. Problema.....</b>	<b>18</b>
<b>5. Justificativa.....</b>	<b>19</b>
<b>6. Descrição da Área de Estudo .....</b>	<b>20</b>
6.1. Localização geográfica e limites.....	20
6.2. Clima.....	20
6.3. Solo .....	21
6.4. Relevos.....	21
6.5. Hidrologia .....	21
6.6. Vegetação.....	21
6.6.1 População e Actividade humanas .....	22
<b>7. Revisão bibliográfica .....</b>	<b>23</b>
7.1. Ecologia e distribuição geográfica da espécie .....	23
7.2. Centro de Endemismo do Rovuma .....	24
7.3. Florestas Costeiras .....	24
7.4. Modelação de distribuição potencial de espécies .....	25
7.5. MaxEnt.....	26
7.6. Habitat, População e Ameaças.....	27
<b>8. Avaliação do estado de conservação.....</b>	<b>28</b>
<b>9. Metodologia .....</b>	<b>31</b>

9.1 Amostragem de campo .....	31
9.2. Dados Abióticos.....	32
9.3. Dados Bióticos .....	32
<b>10. Definição das Variáveis .....</b>	<b>33</b>
10.1. Variáveis independentes .....	33
10.2. Variável dependente.....	33
10.3. Fontes de aquisição de registros de presença da espécie .....	34
10.4. Aquisição das variáveis bioclimáticas .....	34
10.5. Aquisição das propriedades físicas e químicas do solo .....	36
10.6. Aquisição de outros Dados Abióticos.....	37
10.7. Preparação e limpeza dos dados .....	38
<b>11. Análise de Dados .....</b>	<b>40</b>
11.1. Avaliação do estado de ameaça .....	40
11.2. Procedimentos para estimar a extensão de ocorrência (EOO) e área de ocupação (AOO) .....	42
11.3. Construção dos modelos no Maxent .....	43
<b>12. Resultados e Discussão .....</b>	<b>46</b>
12.1 Avaliação do Estado de Conservação (Extensão de Ocorrência (EOO)).....	46
<b>12.2. Área de ocupação (AOO) .....</b>	<b>48</b>
12.3. Matriz de correlação .....	51
12.4. Mapa de Distribuição da Espécie gerado pelo MaxEnt .....	56
12.5. Avaliação do Desempenho Preditivo do Modelo .....	58
12.6. Importância das variáveis na distribuição potencial da espécie.....	59
12.7. Análise de contribuições das variáveis .....	61
12.8. Mapa binário e da distribuição potencial .....	63
<b>13. Conclusões .....</b>	<b>65</b>
<b>14. Recomendações .....</b>	<b>66</b>

<b>15. Limitações.....</b>	<b>66</b>
<b>16. Referências bibliográficas .....</b>	<b>67</b>
<b>17. Anexo.....</b>	<b>76</b>

## 1. Introdução

Uma das principais questões que vem sendo discutida ao longo de décadas é de como os seres vivos estão distribuídos no espaço e no tempo (Guisan & Thuiller, 2005; & Negrão, 2015). Ao longo dos séculos, os humanos observaram e registraram relações consistentes entre as distribuições das espécies e o ambiente físico (Corvelo, 2010). O conhecimento da distribuição geográfica de um determinado ser vivo é fundamental para embasar estudos evolutivos e ecológicos das espécies (Elith, 2009 & Nóbrega De Marco Junior, 2011). Porém, a sua delimitação constitui um desafio, devido à concentração espacial desigual de informação de ocorrência das espécies, alto custo de trabalhos de campo e às variações que ocorrem nessa distribuição ao longo do tempo (De Marco Junior, 2011). Tendo em vista essa problemática, os métodos de Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE) surgiram como uma grande contribuição para estudos realizados nessas áreas (Paglia *et al.*, 2012).

A abordagem de Modelagem de envelope bioclimático ou Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE) tem seus fundamentos enraizados na teoria do nicho ecológico (Pearson & Dawson, 2003). Hutchinson em 1957 definiu o termo nicho ecológico como sendo um espaço com um hipervolume n-dimensional onde cada dimensão representa o intervalo de condições ambientais ou de recursos necessários para a sobrevivência e reprodução da espécie (Dalapicolla, 2016). Os modelos preditivos de distribuição de espécies também têm sido utilizados para explorar hipóteses ecológicas, biogeográficas e evolutivas para prever os efeitos das alterações climáticas na distribuição de espécies (Peterson e Vieglais, 2001 e Peterson, 2003b).

A extinção de espécies é uma realidade inquestionável (Pimm *et al.* 1995; Lawton & May 1995; Dye & Tuggle 1998; Chapin *et al.* 2000; Biber 2002 & Dunn, 2005). As estimativas mais conservadoras prevêm que todas as espécies estarão extintas dentro de alguns séculos (Stork 1997; Pimm & Raven, 2000). O ritmo de extinção é tão elevado que os cientistas crêem que estamos perante uma crise de biodiversidade (Chapin *et al.*, 2000). As actividades humanas têm impactos negativos na biodiversidade como a perda de espécies, e a diminuição do tamanho populacional (Ceballos *et al.*, 2017).

Em Moçambique, ao longo dos anos, vários ecossistemas nacionais sofreram diferentes níveis de degradação, que contribuem para a redução da biodiversidade (IUCN, 2021). Algumas espécies já são consideradas extintas e o número de espécies vulneráveis e ameaçadas tem vindo a aumentar (MITADER, 2019a & IUCN, 2021). Os factores por trás da extinção são: a perda e degradação dos habitats impulsionada pelo alto crescimento da população humana e consequente aumento da demanda por terra que colocam uma pressão crescente sobre os habitats naturais (Darbyshire *et al.*, 2019). Esta perda acelerada de biodiversidade pode ter consequências irreversíveis para os ecossistemas (IUCN, 2021). Entretanto, o país possui uma rica e variada cobertura vegetal em grande parte do seu território, incluindo a influência da sua extensa costa do Oceano Índico (Darbyshire *et al.*, 2019). Esses factores resultaram em uma ampla gama de habitats e fitogeografia complexa (Conde *et al.*, 2014; Odorico *et al.*, 2022). Moçambique tem um nível relativamente alto de endemismo vegetal classificados como endêmicos estritos ou quase endêmicos, que não estão distribuídos uniformemente por todo o país (Darbyshire *et al.*, 2019).

Apesar da sua elevada diversidade, a flora Moçambicana recebeu cobertura de pesquisa limitada, permanecendo pouco conhecida (Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental 2014; Darbyshire *et al.*, 2019). No entanto, nas últimas duas décadas, um novo impulso nos estudos botânicos aumentou (Cheek *et al.*, 2018 & Odorico *et al.*, 2022). No início dos anos 2000, publicaram uma lista de verificação preliminar das plantas vasculares de Moçambique, a lista de verificação foi construída com base na análise de exemplares do Herbário Nacional de Moçambique (LMA) e do Herbário da Universidade Eduardo Mondlane (LMU) com registos adicionais de fontes bibliográficas (Silva *et al.*, 2004; Odorico *et al.*, 2022).

A *Warneckea sessilicarpa*, pertencente à família Melastomaceae, é composta por árvores arbustivas, trepadeiras e ervas, distribuídas nos trópicos (Darbyshire *et al.*, 2019). É uma espécie que apresenta distribuição restrita na zona costeira de Moçambique, foi avaliada pela primeira vez em 1998 pela IUCN (União Internacional para Conservação da Natureza) onde foi alocada na categoria de Dados deficientes (DD). Em 2017 esta espécie foi observada por Alice Massingue em Quinga (Província de Nampula), mais tarde em 2019 foi enviada e confirmada por Robert Douglas Stone um especialista sul-africano nesta família, no mesmo ano foi feita uma nova avaliação usando os dados de ocorrência da espécie disponíveis nos

registros de herbário armazenados no *site* da Agência Global para a Informação sobre Biodiversidade (GBIF), com aproximadamente 7 ocorrências onde foi alocada na categoria de Criticamente Em Perigo (CR) pelo critério B - B1ab (iii, v), a espécie possui uma extensão de ocorrência (EOO) de aproximadamente de 20 km<sup>2</sup>, até onde se verifica a população está diminuindo devido à perda de habitat (Darbyshire *et al.*, 2019, IUCN, 2019). A *Warneckea sessilicarpa* era apenas conhecida nas proximidades da vila de Angoche. Mais recentemente e no âmbito do projecto: *Population Ecology Assessment*, coordenado pela professora Alice Massingue foram registradas ocorrências da espécie por meio de uma expedição da Biodiversidade patrocinada pelo “Fundo de Conservação de Espécies Mohamed Bin Zayed” realizada no ano de 2022. Neste levantamento a espécie foi observada em mais localidades desde Moebase, na província da Zambézia, até Mossuril, na província de Nampula, onde a espécie foi pesquisada.

O presente estudo pretende testar se as condições ambientais e os recursos do habitat relacionados com as novas ocorrências da espécie “*Warneckea sessilicarpa*” tem influência na distribuição e na classificação da categoria de ameaça actual da espécie.

## **1.1. Objectivos**

### **1.2 Geral:**

- Avaliar o estado de conservação e distribuição potencial da *Warneckea sessilicarpa* na zona costeira de Moçambique pelos critérios da IUCN

### **1.3 Especifico:**

- Determinar a extensão de ocorrência e a área de ocupação actual da *Warneckea sessilicarpa* na zona costeira
- Estimar a distribuição geográfica potencial da *Warneckea sessilicarpa* na zona costeira
- Identificar os parâmetros ambientais que definem o habitat de ocorrência da *Warneckea sessilicarpa* na zona costeira

## 2. Hipóteses

A qualidade e a quantidade dos dados de distribuição afectam fortemente os resultados da modelação da distribuição potencial, assim como a resolução e escolha das variáveis ambientais (Suarez-Seoane *et al.*, 2002; Luoto *et al.*, 2005; Borges, 2013).

Os métodos tradicionais utilizados pela IUCN são sensíveis ao incremento da informação biológica advinda da geração de novos dados de ocorrência pontual, que por sua vez são uma das principais causas de rebaixar a categoria de ameaça de uma espécie (Paglia & Fonseca, 2009; Paglia *et al.*, 2012). De acordo com factos apresentados, formulou-se as seguintes Hipóteses:

### 2.1. Hipótese nula

- O incremento de dados de ocorrência da “*Warneckea sessilicarpa*” não deve alterar a categoria de ameaça pelos critérios da lista vermelha da IUCN e o conhecimento da distribuição potencial na zona costeira de Moçambique

### 2.2. Hipótese alternativa

- O incremento de dados de ocorrência da “*Warneckea sessilicarpa*” pode rebaixar a categoria de ameaça pelos critérios da lista vermelha da IUCN e alterar o conhecimento da distribuição potencial na zona costeira de Moçambique
- O incremento de dados de ocorrência da “*Warneckea sessilicarpa*” pode rebaixar a categoria de ameaça pelos critérios da lista vermelha da IUCN e manter o conhecimento da distribuição potencial na zona costeira de Moçambique
- O incremento de dados de ocorrência da “*Warneckea sessilicarpa*” mantém a categoria de ameaça pelos critérios da lista vermelha da IUCN e altera o conhecimento da distribuição potencial na zona costeira de Moçambique

### 3. Teoria Preditiva

A Teoria de Nicho postula que as espécies possuem requerimentos ecológicos diferenciados, descritos como tolerâncias a fatores bióticos e abióticos que formam um espaço multidimensional denominado nicho (Hutchinson, 1957; Carvalho, 2011). A teoria do nicho explicita a resposta das espécies aos gradientes e recursos ambientais e pode ser aplicada tanto a plantas quanto a animais (Giller, 1984; Houston, 2002). Robert McArthur associa o conceito de nicho à manutenção da diversidade, sugerindo que os nichos podem se sobrepor neste hiperespaço, e assim limitar a coexistência das espécies em uma comunidade (Ricklefs & Schluter, 1993; Carvalho, 2011).

O nicho ecológico de uma espécie pode ser descrito por sua posição média e amplitude ao longo de vários eixos ambientais (Schoener, 1989; Austin, 2007). Na maior parte das aplicações de Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE) considera-se que, o nicho ecológico é o modelo básico que sustenta a possibilidade de produzir previsões sobre a ocorrência de espécies (Peterson, 2001; Thuiller *et al.*, 2005; Elith *et al.*, 2006; Stockwell, 2006). O nicho ecológico é definido como o conjunto de condições e recursos nos quais os indivíduos de uma espécie são capazes de sobreviver, crescer e reproduzir (Ponder *et al.*, 2001; Stockwell & Peterson, 2002a). Logo, o conhecimento dessas condições e recursos deve servir para prever os locais de ocorrência da espécie (Peterson e Holt, 2003).

Os fundamentos da modelagem de nicho estão profundamente enraizados nos conceitos de nicho fundamentais e realizados de Hutchinson (Hutchinson, 1957; Austin, 2007). Nicho fundamental da espécie, que inclui os intervalos das condições ambientais necessárias para a existência da espécie, sem considerar a influência de interações bióticas, tais como competição e predação (Dalapicolla, 2015). Entretanto o nicho realizado descreve a parte do nicho fundamental no qual a espécie realmente ocorre, ou seja, é delimitado por fatores bióticos. Como em geral só estão disponíveis dados de presença essas funções devem representar as características ambientais nos pontos de ocorrência ou o “nicho” da espécie (Junior e Siqueira, 2009). Desse modo, a área definida pelo nicho fundamental é, via de regra, maior que o nicho realizado (Hutchinson, 1957 & Dalapicolla, 2015). O presente estudo visa descrever o nicho fundamental da espécie em estudo “*Warneckea sessilicarpa*”.

#### 4. Problema

A quantidade de pontos de ocorrência de espécies usados para desenvolver modelos preditivos de distribuição de espécies afetam a taxa de sucesso do modelo em prever a ocorrência de uma espécie em um local (Stockwell & Peterson, 2002). Os modelos de distribuição de espécies são particularmente sensíveis à qualidade e ao tipo de dado disponível, assim como a resolução e escolha das variáveis ambientais (Robertson *et al.*, 2003; Elith *et al.*, 2006; Austin, 2007). Estudos relacionados demonstram um aumento da acurácia dos modelos associada ao aumento do número de pontos de ocorrência disponíveis (Stockwell & Peterson, 2002; Hernandez *et al.*, 2006; Pearson *et al.*, 2007; Junior & Siqueira, 2009). Quanto menor a quantidade de dados disponíveis, menos parâmetros podem ser ajustados nos modelos (Stockwell e Peterson, 2002).

Em 2019 a lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) alocou á *Warneckea sessilicarpa* a categoria de criticamente ameaçada (CR), com a elevada pressão sobre os recursos naturais devido ao aumento da à procura de terras agrícolas, habitação, colheita de carvão e madeira (IUCN, 2019). Nos herbários é conhecido apenas a partir de sete coleções registadas em três localidades do distrito de Angoche, todas feitas em 1965, excepto uma feita em 1968 (Darbyshire *et al.*, 2019; IUCN, 2019). Os dados de ocorrência extraídos dos registos de herbário armazenados nos *sites* da IUCN 2019 e Agência Global para a Informação sobre Biodiversidade (GBIF) contém apenas 7 ocorrências registadas (IUCN, 2019). Não se tem conhecimento de coletas confirmadas em 50 anos. Até onde se verifica a população está diminuindo devido à perda de habitat (Darbyshire *et al.*, 2019). O habitat das matas de dunas costeiras na Zambézia e Nampula é altamente fragmentado e existem apenas nove locais para *Warneckea sessilicarpa* (Darbyshire *et al.*, 2019). Tornou-se necessário fazer a seguinte pergunta. Qual é a categoria de ameaça e distribuição potencial da *Warneckea sessilicarpa*, com o incremento de dados de ocorrência e ameaças recentemente identificadas? A tendência atual da diminuição da população da *Warneckea sessilicarpa* devido a perda e degradação do habitat impulsionada pelo alto crescimento da população humana, procura de terras agrícolas, carvão, madeira e mineração nas areias a nordeste de Angoche que era a única localidade de ocorrência da espécie até então conhecida (Mozambique Resources Post, 2014).

## 5. Justificativa

A modelagem da distribuição é essencial para assegurar a consistência dos resultados, ao mesmo tempo que reduz o tempo e os custos dos estudos da biodiversidade em larga escala envolvendo um grande número de espécies (Stockwell, 1997; Stockwell & Peters, 1999; Pearce & Ferrier, 2000). Com facilidade de acesso aos dados via *Internet*, essas abordagens fornecem um caminho crítico para colocar as considerações sobre biodiversidade na vanguarda da ciência e da formulação de políticas (Boston & Stockwell, 1995; Vieglais *et al.*, 1998 & Stockwell & Peterson, 2002).

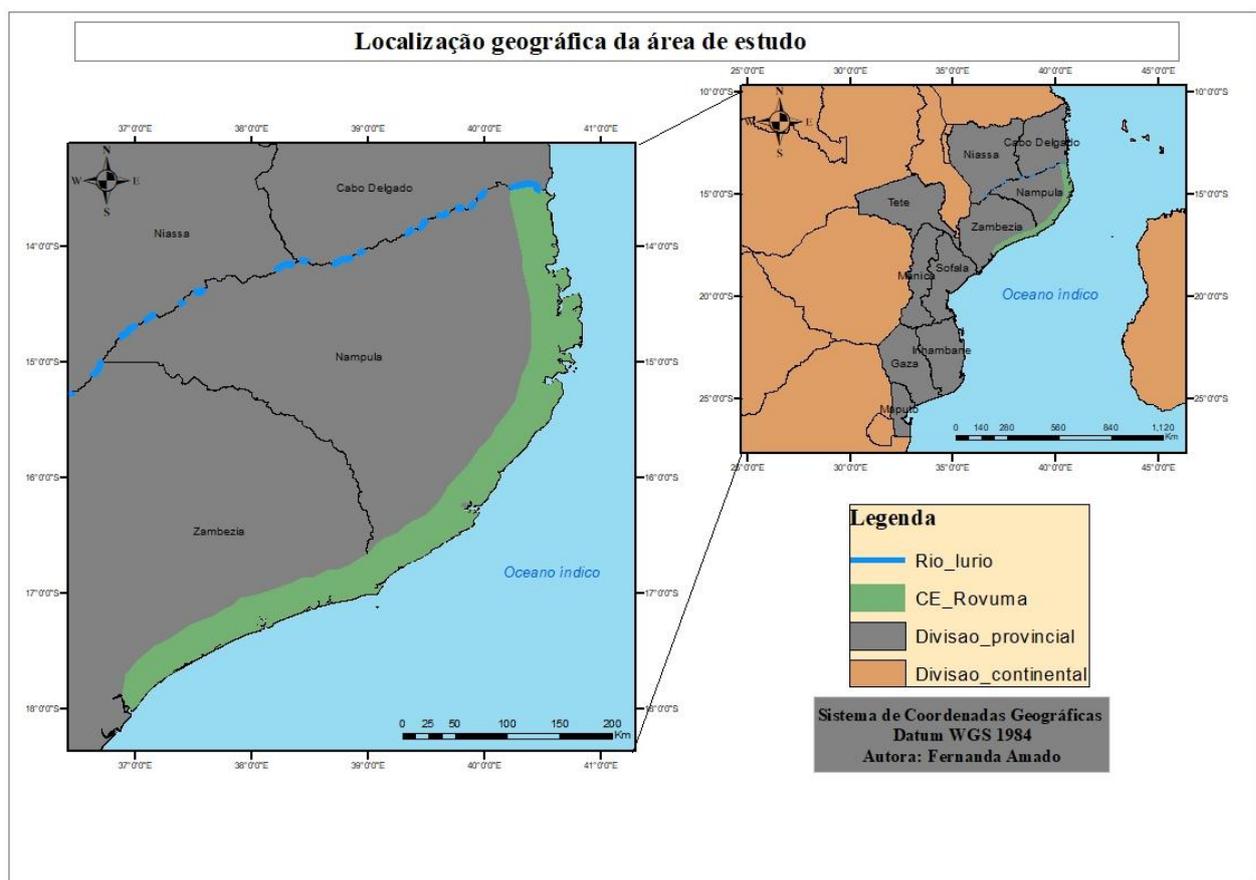
A *Warneckea sessilicarpa* é sensível a mudanças ambientais, distúrbios e ações antropogénicas (Darbyshire *et al.*, 2019). Táxons endêmicos merecem atenção especial devido à sua distribuição geográfica limitada, qualquer mudança desfavorável no habitat pode causar a rápida extinção dessas espécies (Callmander *et al.*, 2005; Al & Qaiser, 2011; Darbyshire *et al.*, 2019). A extensão das dunas disponíveis constituem um habitat preferível para *Warneckea sessilicarpa*, a área do habitat está a reduzir devido as seguintes pressões: empresas de mineração que ocorrem ao longo das dunas, culturas agrícolas (mais dominante), as alterações climáticas (impactos de ciclones frequentes e intensos) e a construção de alojamentos turísticos (menos observados) que constituem as principais causas de ameaças do habitat (Massingue *et al.*, 2022 observação no campo).

A avaliação da conservação e distribuição potencial desta espécie destaca a importância do habitat costeiro para espécies endêmicas de distribuição restrita no Centro e Norte de Moçambique (Centro de Endemismo do Rovuma). As categorias e critérios da Lista Vermelha da IUCN, fornecem informações sobre o risco de extinção dessa espécie, adicionalmente a distribuição potencial prevê os locais potencialmente adequados (Massingue *et al.*, 2022 observação no campo). Estas informações são imprescindíveis para o adequado manejo na gestão da biodiversidade e implementação de ações para mitigação de risco de extinção e identificação de áreas Chaves da Biodiversidade em Moçambique (IUCN 2012, Darbyshire *et al.*, 2019).

## 6. Descrição da Área de Estudo

### 6.1. Localização geográfica e limites

Um estudo fitogeográfico mais restrito, foi realizado na zona litoral das províncias de Zambézia e Nampula, no Centro de Endemismo do Rovuma, anteriormente referido como Centro de Endemismo Lindi (Clarke, 1998 & Darbyshire *et al.*, 2019). Restrito ao sudeste da Tanzânia, foi recentemente estendido para o norte de Moçambique, abrangendo a área costeira das províncias de Cabo Delgado, Nampula e Zambézia (Burrows & Timberlake 2011 & Darbyshire *et al.*, 2019).



**Figura 2:** Localização geográfica da área de estudo

### 6.2. Clima

O clima de grande parte da região costeira de Moçambique é influenciado pela corrente quente do canal de Moçambique (Louro, 2005). A área é caracterizada por um clima tropical semi-húmido, com uma estação chuvosa a partir de meados de Novembro a Março e uma estação seca de Abril a meados de Novembro (WCS, Governo de Moçambique & USAID, 2021). A

precipitação ocorre durante todo o ano, mas a verdadeira estação chuvosa ocorre na estação quente, mais propriamente nos períodos de Novembro a Março (Tinley, 1971; Hatton, 1995; Massinga & Hatton, 1996; *et al.*, Louro, 2005).

### **6.3. Solos**

Na zona costeira predominam os solos de sedimentos marinhos estuarinos (FE) com solos de dunas costeiras (DC) e solos de mananga (M) (MICOA, 2012). Os solos são profundos, e essencialmente de textura arenosa, exceptuando-se os solos aluvionares lodosos dos mangais e os solos francos arenosos de influência dos depósitos dos rios, que apresentam teores de limo mais elevados (5-10%) (MICOA, 2012). Os solos são geralmente arenosos e particularmente mais pesados nas áreas costeiras mais baixas, apresentando baixa capacidade de retenção de água, baixa fertilidade e baixa coesão, o que os torna propensos à erosão, principalmente depois da vegetação ser removida e, portanto, os solos têm potencial agrícola que varia de baixo a moderado (Impacto, 2012; WCS, Governo de Moçambique & USAID, 2021).

### **6.4. Relevos**

As planícies costeiras na região são dissecadas por alguns rios que sobem da costa para o interior, gradualmente passando para um relevo mais dissecado com encostas mais declivosas intermédias, da zona subplanáltica de transição para litoral. Esta Zona corresponde á área costeira das províncias (Huguane, 2007).

### **6.5. Hidrologia**

Em Moçambique Vinte e quatro (24) rios desaguam no Oceano Índico através da zona costeira, cada um sustentando mangais bem estabelecidos (MICOA, 2010). Na região costeira a norte colonizam a foz dos principais rios como o Lurio e o Rovuma, baías protegidas e algumas ilhas como o Ibo (Barbosa *et al.*, 2001; IUCN, 2021). A região costeira a Norte é caracterizada por ocorrência de principais rios como: Rio Messalo, Lúrio, Ligonha, Licungo e Meluli.

### **6.6. Vegetação**

O Centro de Endemismo Rovuma, inclui uma variedade de tipos de ecossistemas delineados e avaliados provisoriamente, para a Lista Vermelha de Ecossistemas a saber: Floresta Costeira de Icuria; Miombo arbustivo costeiro, Mata Arbustiva de Duna do Zambeze, graminal/pradaria

higrófila-pradarias de ervas marinhas e savana de palmeiras (Lötter *et al.*, 2021). As espécies encontradas na vegetação da mata arbustiva costeira incluem os arbustos *Strychnos madagascariensis*, *Strychnos spinosa*, *Xylothea tettensis*, *Coptosperma littorale*, *Olax dissitiflora*, *Mimosops obtusifolia*, *Brachystegia oblonga*, *Hymenaea verrucosa*, *Drypetes natalensis* e *Croton pseudopulchellus* (Lötter *et al.*, 2021). A Floresta Costeira (associada à floresta de *Icuria dunensis*), ocorre na margem do matagal em uma alta crista dunar, paralela à linha de costa. As espécies comuns encontradas nas florestas costeiras, incluem *Hymenaea verrucosa*, *Scorodophloeus torrei*, *Maprounea africana*, *Croton pseudopulchellus*, *Garcinia livingstonei*, *Grewia occidentalis* e *Olax dissitiflora*. Ocorrências da *Warneckea sessilicarpa* foram registadas em uma localidade dentro das dunas costeiras, esta espécie pode ser um alerta para habitat crítico. (Darbyshire *et al.*, 2019; Lötter *et al.*, 2021)

### **6.6.1 População e Actividade humanas**

As áreas costeiras, em todo o mundo, são sistemas dinâmicos, complexos e multi-funcionais. Em Moçambique, essa complexidade e diversidade também se manifestam ao longo da extensa costa de 2.700 km<sup>2</sup> (MICOA, 2013). Um vasto número de actividades humanas ocorre no litoral moçambicano, em condições em que, por vezes, a integridade dos ecossistemas pode ficar em risco. As actividades incluem turismo e actividades recreativas, pescas, actividades portuárias e de navegação, mineração, prospecção e exploração de hidrocarbonetos, urbanização e agricultura (MICOA, 2013). A população desta zona costeira dedica-se principalmente à pesca, agricultura de subsistência, e plantação de cajueiros como cultura de rendimento (Louro, 2005). A faixa costeira é dominada pelo sistema de produção baseado na cultura da mandioca, associada com leguminosas de grão como o feijão nhemba e o amendoim, o arroz de sequeiro é a cultura produzida nas planícies aluvionares dos principais rios que drenam a costa e planícies estuarinas, sendo normalmente produzidos em bacias de inundação preparadas para o efeito (MAE, 2005).

## 7. Revisão bibliográfica

### 7.1. Ecologia e distribuição geográfica da espécie

*Warneckea sessilicarpa*, pertence à família Melastomaceae é um arbusto de folha caduca ou pequena árvore que mede até 7 m de altura que cresce em bosques, florestas secas, dunas costeiras, matagal litorâneo e em solos arenosos ao nível do mar a 50 m de altitude (Fernandes e Fernandes 1978; Burrows *et al.*, 2018). É uma espécie endêmica e restrita á Moçambique, que forma uma importante componente da vegetação lenhosa, com ocorrências registradas na província de Nampula nas proximidades da cidade de Angoche (Burrows *et al.*, 2019). A espécie não forma população monoespecífica, ou seja, ocorre associada a outras espécies dunares (Darbyshire *et al.*, 2019 & Massingue *et al.*, 2022 observação no campo). A espécie ocorre principalmente associada às seguintes espécies vegetais: *Haplocoelum foliosum*, *Var. mombasense*, *Coptosperma littorale*, *Ancylobothrys petersiana*, *Croton pseudopulchellus*. O habitat mais adequado para esta espécie é ao longo da duna de bilhete, embora alguns indivíduos também possam ser encontrados noutros habitats, como o habitat florestal da Icuria (Massingue *et al.*, 2022 observação no campo).

### Taxonomia

Reino: Plantae

Filo: Tracheophyta

Classe: Magnoliopsida

Família: Melastomataceae

Género: *Warneckea*

Espécie: *Warneckea sessilicarpa*



**Figura 3:** Foto: Alice Massingue, 2022

### Descrição Botânica

Hábito: pequena árvore ou arbusto, tem casca descascada em pequenas manchas

Caule: ramos jovens, castanho-avermelhados, cilíndricos

Folhas: folhas com três nervuras

Flores: geralmente densas e com inflorescência axilar

Frutos: sésseis, às vezes nos nós da parte sem folhas dos ramos

## **7.2. Centro de Endemismo do Rovuma**

O centro de Endemismo do Rovuma localiza-se na zona costeira das províncias de Zambézia, Nampula e Cabo Delgado, continuidade do Endemismo Lindi (Clarke, 1998; Darbyshire *et al.*, 2019). Na Tanzânia a região costeira do nordeste de Moçambique tem sido reconhecida como uma área provável de alta diversidade biológica e interesse (Barbosa, 1968; Brenan, 1978; Huntley 1978; White & Moll, 1978; Timberlake *et al.*, 2010). Este reconhecimento baseou-se principalmente na conhecida elevada diversidade de espécies e elevado número de espécies endémicas de distribuição limitada com alcance estreito (Brenan, 1978; Timberlake *et al.*, 2010).

O termo espécies endémicas refere-se as espécies ou táxon que somente ocorre numa região específica e em nenhuma outra região. Endemismo é frequentemente usado como medida de integridade e saúde de um ecossistema (CEPEC, 2014). Essas espécies, portanto, formam componentes importantes para uma variedade de métodos para identificar e conservar prioridades de biodiversidade, como Áreas Importantes de Plantas (Darbyshire *et al.* 2017). O centro de endemismo do Rovuma, inclui uma variedade de tipos de ecossistemas delineados e avaliados provisoriamente, para a Lista Vermelha de Ecossistemas, a saber: Floresta Costeira da Icuria (EN; ocorre apenas em Moçambique entre Nacala e Pebane), Pebane Miombo arbustivo costeiro (EN; de Nicodala na Zambézia até ao sul de Angoche em Nampula) e Mata Arbustiva de Duna do Zambeze “Chenier” (VU; a norte da foz do Rio Save na Província de Sofala, até o norte de Moma na Província de Nampula) (Lötter *et al.*, 2021 & CES, 2022).

## **7.3. Florestas Costeiras**

Florestas secas costeiras são florestas essencialmente secas ou formações de matagais que são encontradas dentro de 50 – 100 km da costa (Timberlake *et al.*, 2010). Geralmente são formações de vegetação com dossel fechado ou quase fechado (80% de cobertura ou mais quando não perturbado) com uma alta proporção de espécies lenhosas decíduas que perdem suas folhas durante a longa estação seca. As florestas secas costeiras são caracterizadas tanto por sua composição de espécies quanto por sua estrutura física (que pode ser modificada por usos da terra, como extração de madeira ou cultivo) (Timberlake *et al.*, 2010).



**Figura 4:** (A) Ilustra uma Floresta costeira típica e (B) um indivíduo adulto de *Warneckea sessilicarpa* mostrando frutos imaturos. Foto: Alice Massingue, 2022.

#### 7.4. Modelação de distribuição potencial de espécies

Os Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE) podem ser considerados como o ajuste a uma função entre os pontos de ocorrência de uma espécie e um conjunto multivariado de dados ambientais (Phillips *et al.*, 2006). Os modelos de distribuição de espécies são associações entre as variáveis ambientais e os registros de ocorrência de uma espécie-alvo para identificar as condições ambientais dentro das quais as populações dessa espécie podem ser mantidas indefinidamente (Dalapicola, 2016). A ferramenta permite estimar a distribuição espacial do ambiente que é favorável a uma determinada espécie para uma determinada área de estudo (Dalapicola, 2016). Os modelos podem ser realizados por diferentes algoritmos (funções matemáticas implementadas em diferentes *softwares*) (Dalapicola, 2016). Os modelos são utilizados mais frequentemente de quatro maneiras:

- Para calcular a adequabilidade relativa do habitat ocupado pelas espécies – distribuição atual;
- Para estimar a adequabilidade relativa do habitat em áreas geográficas que não são ocupadas pelas espécies – distribuição potencial/espécies invasoras;
- Para estimar mudanças na adequação de habitat ao longo do tempo, dado um cenário específico para a mudança ambiental – paleomodelagem e modelagem futura;
- E como estimativa do nicho ecológico da espécie (Warren & Seifert, 2011; Dalapicola, 2016).

Existem dois grandes grupos de Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE) Modelagem correlativa (*Correlative modelling*) e a Modelagem mecanicista (*Mechanistic modelling*) (Kearney & Porter, 2009; Silleiro *et al.*, 2010 & Lima, 2012). Modelagem correlativa (*Correlative modelling*) Usa dois tipos de dados para modelar os requisitos ambientais de uma espécie e estimar sua distribuição geográfica potencial (registros de ocorrência) e as variáveis ambientais para a região de estudo, especialmente as climáticas e a Modelagem mecanicista (*Mechanistic modelling*): usam propriedades biofísicas dos organismos (principalmente fisiologia) para ligar diretamente traços funcionais com as condições ambientais para determinar as áreas onde possam existir tais espécies (Alvarado-Serrano & Knowles, 2014; Dalapicolla, 2016).

### **7.5. MaxEnt**

Uma das ferramentas de Modelagem de Distribuição de Espécies mais populares é o MaxEnt (Phillips *et al.*, 2006). É um método baseado no princípio de máxima entropia que é capaz de realizar previsões ou inferências a partir de informações incompletas. A idéia da aplicação do MaxEnt para modelos de distribuição de espécies é estimar a probabilidade de ocorrência da espécie encontrando a distribuição de probabilidade da máxima entropia, sujeita a um conjunto de restrições que representam a informação incompleta sobre a distribuição do alvo onde o algoritmo seleciona o modelo de distribuição com maior entropia, ou seja, aquele com distribuição mais próxima uniforme (Phillips *et al.*, 2006).

MaxEnt tem a vantagem de usar apenas dados de presença, portanto, não exigindo dados das ausências confirmadas de áreas específicas (Dalapicolla, 2016). Estas características levaram MaxEnt a ser considerado como um dos melhores programas para MDE (Modelagem de Distribuição de Espécies) em resumo: (1) é de uso comum, passível de comparação com outros trabalhos; (2) tem bom desempenho para amostras de pequenas dimensões e também para amostras maiores e é possível ajustar as definições que afetam a complexidade dos modelos (Elith *et al.*, 2010; Shcheglovitova & Anderson 2013 & Dalapicolla, 2016). Dessa forma, quando o intuito do trabalho for modelar espécies raras ou com poucas ocorrências é necessário escolher um algoritmo que tenha bom desempenho com poucas ocorrências (Wisz *et al.*, 2008).

## 7.6. Habitat, População e Ameaças

Esta espécie está agora considerada criticamente ameaçada (CR), sobretudo pela perda e degradação deste habitat lenhoso originado pela alta pressão humana na costa ao redor do distrito de Angoche com pouca vegetação lenhosa, permanecendo dentro de sua faixa conhecida (Burrows *et al.*, 2018). A mineração de areias pesadas a nordeste do distrito de Angoche também está resultando em considerável perturbação e destruição do habitat (Darbyshire *et al.*, 2019).

Os *Tickets* de dunas estão severamente fragmentados e sob ameaça de actividades antropogénicas que resultam no declínio contínuo do número de indivíduos adultos, da qualidade do habitat e da extensão da ocorrência. O habitat da espécie foi desmatado para dar espaço a aldeias de pescadores e exploração de areia pesada (Massingue *et al.*, 2022 observação em campo).



**Figura 6:** Pressão do habitat pelo cultivo da castanha de caju no distrito de Angoche Foto: Alice Massingue, 2022



**Figura 5:** Habitat da espécie perdido com o estabelecimento de vilas de pescadores Foto: Alice Massingue, 2022



**Figura 7:** Habitat desmatado para fins agrícolas. Foto: Alice Massingue, 2022

## 8. Avaliação do estado de conservação

A União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) é a principal autoridade na avaliação dos riscos de extinção de espécies em todo o mundo (IUCN, 2001; Miller *et al.*, 2006). Os critérios da IUCN fornecem uma avaliação precisa do estado da biodiversidade em escala global, bem como em níveis regionais, permitem o mapeamento de mudanças na biodiversidade, avaliação de ameaças e identificação de espécie locais para acções de conservação esses critérios são revisados e atualizados regularmente e constituem a base para o desenvolvimento da Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas para todos os principais grupos taxonómicos (Baigún *et al.*, 2012).

Uma Lista Vermelha é o resultado de um processo no qual se procura identificar e evidenciar quais os táxons que estão mais ameaçados de extinção numa determinada área geográfica (Carapeto *et al.*, 2020). Desde a sua adoção, em 1994, as categorias da Lista Vermelha da IUCN têm sido amplamente utilizadas por diversas entidades governamentais e por organizações ambientais como método para efetuar o diagnóstico do risco de extinção de um táxon, pela sua facilidade de utilização, objectividade e reconhecimento internacional (IUCN, 2001; 2012b; IUCN, 2022). Uma Lista Vermelha não deve ser encarada como uma lista de espécies a proteger, mas sim como uma ferramenta de diagnóstico e alerta, que pode ajudar a tomar decisões ao nível da conservação (Carapeto *et al.*, 2020).

As zonas de endemismo em Moçambique são consideradas globalmente ameaçados pela Lista Vermelha da IUCN (Darbyshire *et al.*, 2019). Deverá proceder-se uma nova avaliação do risco de extinção de um táxon sempre que haja alterações significativas, quer ao nível demográfico, quer ao nível de pressões incidentes (Carapeto *et al.*, 2020).

Na avaliação do risco de extinção são empregados cinco critérios quantitativos para avaliar se um táxon está ou não ameaçado e, se qual categoria de ameaça ele pertence (Criticamente em Perigo (CR), Em Perigo (EN) ou Vulnerável (VU) (IUCN, 2022). Esses critérios são baseados em indicadores biológicos de populações ameaçadas de extinção, como rápido declínio populacional ou tamanho populacional muito pequeno:

- A. Redução do tamanho da população (passado, presente e/ou projetado);
- B. Tamanho da distribuição geográfica e fragmentação, poucas localizações condicionadas à ameaça, declínio ou flutuações;
- C. Tamanho populacional pequeno e com declínio e fragmentação, flutuações ou poucas subpopulações;
- D. Tamanho de população muito pequeno ou distribuição muito restrita;
- E. Análise quantitativa de risco de extinção (exemplo: Análise de Viabilidade da População)

Existem nove categorias claramente definidas nas quais todos os táxons do mundo (excluindo micro-organismos) podem ser classificados: (IUCN, 2022).

**Extinta – EX (*Extinct*)** Uma espécie (ou táxon) é categorizada como Extinta quando não há dúvida razoável de que o último indivíduo dessa espécie morreu. Uma espécie é considerada Extinta quando levantamentos exaustivos em habitats conhecidos e/ou esperados, em momentos apropriados (diurno, sazonal, anual), em toda sua distribuição histórica, não registraram nenhum indivíduo

**Extinta Na Natureza – EW (*Extinct in the Wild*)** Uma espécie (ou táxon) é categorizada como Extinta na Natureza quando se sabe que os últimos indivíduos sobrevivem apenas em cultivo, em cativeiro ou como uma população (ou populações) naturalizada sabidamente fora da distribuição histórica. Uma espécie é considerada Extinta na Natureza quando pesquisas exaustivas em habitats conhecidos e/ou esperados, em momentos apropriados (diurno, sazonal, anual), em toda sua distribuição histórica, não registraram nenhum indivíduo.

**Criticamente Em Perigo – CR (*Critically Endangered*)** Uma espécie (ou táxon) é categorizada como Criticamente em Perigo quando a melhor evidência disponível indica que ela atende a qualquer um dos critérios de A a E para Criticamente em Perigo e, portanto, considera-se que esteja sob risco extremamente alto de extinção na natureza.

**Em Perigo – EN (*Endangered*)** uma espécie (ou táxon) é categorizada como Em Perigo quando a melhor evidência disponível indica que ela atende a qualquer um dos critérios de A a E para Em Perigo e, portanto, considera-se que esteja sob risco muito alto de extinção na natureza.

**Vulnerável – VU (*Vulnerable*)** uma espécie (ou táxon) é categorizada como Vulnerável quando a melhor evidência disponível indica que ela atende a qualquer um dos critérios de A a E para Vulnerável e, portanto, considera-se que esteja sob risco alto de extinção na natureza.

**Quase Ameaçada – NT (*Near Threatened*)** uma espécie (ou táxon) é categorizada como Quase Ameaçada quando foi avaliada pelos critérios, mas não se qualificou como Criticamente em Perigo, Em Perigo ou Vulnerável neste momento, estando, porém, próximo ou passível de ser categorizada em uma das categorias de ameaça em um futuro próximo.

**Menos Preocupante – LC (*Least Concern*)** uma espécie (ou táxon) é categorizada como Menos Preocupante quando foi avaliada de acordo com os critérios e não se qualificou como Criticamente em Perigo, Em Perigo, Vulnerável ou Quase Ameaçada. Táxons de ampla distribuição e abundantes são geralmente incluídos nesta categoria.

**Dados Insuficientes – DD (*Data Deficient*)** uma espécie (ou táxon) é categorizada em Dados Insuficientes quando não há informações adequadas para fazer uma avaliação direta ou indireta de seu risco de extinção com base em sua distribuição e/ou status populacional.

**Não Avaliado – NE (*Not Evaluated*)** um táxon é categorizado como Não Avaliado se ainda não foi avaliado em relação aos critérios.

## 9. Metodologia

### 9.1 Amostragem de campo

Dados existentes de ocorrências da espécie “*Warneckea sessilicarpa*”, foram extraídos do banco de dados armazenados no *site* Agência Global para a Informação sobre Biodiversidade (GBIF). Actualmente, o GBIF é a maior base de dados sobre a biodiversidade na internet, com dados colectados entre os anos 1965 á 2017 (GBIF, 2017 e Teixeira, 2018). Dados primários de ocorrências da espécie, colectados no âmbito do projecto *Population Ecology Assessment of Warneckea sessilicarpa* coordenado pela professora Alice Massingue, foram adicionalmente usados. Foram registradas 35 ocorrências da espécie por meio de uma expedição que decorreu no ano de 2022 na zona costeira das províncias de Zambézia e Nampula. Durante a realização do trabalho de campo procedeu-se previamente a avaliação das províncias costeiras de Zambézia e Nampula, por meio de imagens de satélite do repositório do *Google Earth*, de modo a obter informação geral sobre a distribuição geográfica da espécie.

A premissa para a modelagem é que os pontos de ocorrência sejam coletados aleatoriamente por toda a extensão da distribuição da espécie, isso porque fazer uma modelagem com aglomerados de pontos (*Clusters*) produz substancialmente valores mais altos de Cálculo da Área sob a Curva (AUC) e isso gera erros de autocorrelação espacial que devem ser corrigidos (Phillips *et al.*, 2009 e Royle *et al.*, 2012). A amostragem foi realizada através do estabelecimento de transectos aleatórios simples ao longo da vegetação costeira acessíveis tanto de veículo automóvel quanto á pé. Os pontos de amostragem identificados foram georreferenciados em campo, por meio de um Sistema de Posicionamento Global (GPS) da marca *Garmin* do modelo 010-01199-10.

Ao longo dos transectos, foram feitas observações, para identificar todas as espécies vegetais encontradas. A maioria das espécies de plantas, foram identificadas em campo, usando literatura como: Flora Zambesiaca (Massingue *et al.*, 2022 observação no campo). E publicação "Árvores e Arbustos de Moçambique" (Burrows *et al.*, 2018). Entre outras fontes, nomeadamente: Palgrave (2002); Van Wyk (2000) e Oudtshoorn (2014). As espécies que não foram identificadas, foram colhidas, para identificação por comparação com colecções dos herbários nacional (LMA) e da Universidade Eduardo Mondlane (LMU) em Maputo.

## 9.2. Dados Abióticos

São variáveis ambientais ou imagens (também chamadas de camadas ou *layers*) de uma região (Dalpicolla, 2015). Essas imagens são divididas em pequenas quadrículas chamadas células (*cells*) ou *pixels* e cada *pixel* possui um valor numérico, correspondente ao valor da variável ambiental representada (Dalpicolla, 2015). Existem dois tipos de variáveis/camadas ambientais, as contínuas e as categóricas. (Anderson & Gonzalez 2011; Anderson & Raza 2010; Shcheglovitova & Anderson 2013; Dalpicolla, 2015). Os dados ambientais contínuos (ou numéricos) são os mais usados em Modelagem de Distribuição de Espécie (MDE), como os dados climáticos (temperatura e precipitação) e os topográficos (elevação e inclinação do terreno) (Anderson & Gonzalez 2011; Anderson & Raza 2010; Shcheglovitova & Anderson 2013; Dalpicolla, 2015). As variáveis ambientais são utilizadas para fazer a modelagem de distribuição da espécie, essas variáveis podem representar os dados bioclimáticos extraídos na plataforma do *Worldclim* ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)) onde foram obtidas as variáveis mais comuns que descrevem as características do clima como a temperatura e a precipitação, dados referentes a propriedades físicas e químicas do solo foram obtidas no *site Soilgrids* (<https://soilgrids.org/>) (Katia *et al.*, 2021). Dados referentes a Densidade Populacional, Índice de Influência Humana, Elevação, Declive, Uso e Cobertura da Terra obtidos em diferentes *sites* ilustrados e descritos na tabela 4.

## 9.3. Dados Bióticos

São os registros de ocorrência da espécie (Dalpicolla, 2016). Existem dois tipos de dados bióticos associados aos Modelos de Distribuição de Espécies (MDE), registros de presença e os registros de ausência de uma determinada espécie. Os registros de presença são comumente gerados através de coletas de espécimes ou de observações em campo (Rushton *et al.*, 2004 & Dalpicolla, 2016). Os dados de ocorrência da espécie foram extraídos do banco de dados armazenados no site Agência Global para a Informação sobre Biodiversidade (GBIF), com sete (7) ocorrências “para *Warneckea sessilicarpa*”, os mesmos também foram usados para fazer a última avaliação do estado de conservação da espécie no ano 2019 realizado por Darbyshire *et al.*, (2019). Os dados de ocorrência da espécie coletados em campo foi um total de 35 registros de ocorrência.

## **10. Definição das Variáveis**

### **10.1. Variáveis independentes**

Em processos de desenvolvimento de modelos preditivos para determinar a distribuição geográfica potencial de espécies, é crucial a identificação das variáveis ambientais e climáticas que influenciam na ocorrência de uma espécie numa determinada área (Forman, 1995; Borges, 2013). O princípio da modelagem assume a existência de uma relação entre a variável dependente (distribuição da espécie) e a combinação das variáveis explicativas (variáveis ambientais) (Hijmans *et al.*, 2005). Para a construção de um modelo de distribuição espacial de uma espécie é necessário a utilização de diferentes variáveis independentes. Estas podem ter uma influência directa ou indirecta sobre os organismos (Guisan *et al.*, 2000). As variáveis independentes consideradas para avaliar a categoria de ameaça e a distribuição da “*Warneckea sessilicarpa*” são variáveis ambientais e climáticas como: precipitação, temperatura, elevação, propriedades físicas e químicas do solo, declive, uso e cobertura do solo e a densidade populacional. Conforme a Teoria do Nicho Ecológico que explicita a resposta das espécies aos gradientes e recursos ambientais (Giller, 1984; Houston, 2002). Se crê que a intersecção entre as variáveis ambientais e os pontos de presença possam determinar a ocorrência de espécies numa determinada área (Peterson *et al.*, 2011).

### **10.2. Variável dependente**

A modelagem combina pontos de presença de espécies com variáveis ambientais/ecológicas para prever ambientes adequados, onde uma população possa se manter viável (Anderson *et al.* 2003; Guisan & Thuiller, 2005; Kamino, 2009). Os pontos de presença são coordenadas georreferenciadas que situam a localidade onde um espécime foi coletado e/ou registrado (Kamino, 2009). Cada localidade de ocorrência é simplesmente um par de latitude-longitude denotando um local onde a espécie foi observada (Reddy, 2015). As espécies endêmicas restritas estão frequentemente entre as espécies mais sensíveis a mudanças e distúrbios ambientais (Crisp *et al.*, 2001; Iyik, 2011; Borokini, 2014; Abdelaal *et al.*, 2018; Orsenigo *et al.*, 2018; Darbyshire *et al.*, 2019). Os dados secundários de ocorrência da espécie foram extraídos do banco de dados armazenados no site da Agência Global para a Informação sobre Biodiversidade (GBIF), com aproximadamente 7 ocorrências e 35 ocorrências adquiridas em campo. Face a isto o número de ocorrências é considerado neste estudo como variável dependente.

### 10.3. Fontes de aquisição de registros de presença da espécie

Registos de ocorrência obtidos no site da Agência Global para a Informação sobre Biodiversidade (GBIF) e o Registo de ocorrência colectados no âmbito do projecto (Population Ecology Assessment of *Warneckea sessilicarpa*)

**Tabela 1:** Descrição das ocorrências obtidas da *Warneckea sessilicarpa*

Dados	Número de ocorrências	Espécie	Fonte
Ocorrências do GBIF	7 Ocorrências	<i>Warneckea sessilicarpa</i>	(www.gbif.org)
Projecto (Population Ecology Assessment of <i>Warneckea sessilicarpa</i> )	35 Ocorrências	<i>Warneckea sessilicarpa</i>	Em campo

### 10.4. Aquisição das variáveis bioclimáticas

Foram usadas as 19 variáveis bioclimáticas obtidas por meio de acesso ao banco de dados virtual do site Worldclim (www.worldclim.org/bioclim) todas na resolução espacial de aproximadamente 1 km<sup>2</sup> de 30 arc-segundo, onde são armazenados dados de alta resolução espacial de dados meteorológicos e climáticos (Fick e Hijmans, 2017). A modelagem com resolução espacial fina de 1 km<sup>2</sup> é recomendada para espécies com ocorrências restritas ou endêmicas (Soe *et al.*, 2008). Essas variáveis bioclimáticas são derivadas de valores mensais de temperatura e precipitação registradas ao longo de 30 anos, sendo amplamente aplicadas em estudos de modelagem de nicho ecológico (Hijmans *et al.*, 2005). As variáveis bioclimáticas são ficheiros *raster* cobrindo extensões globais e representam tendências anuais (ex: temperatura média anual, precipitação anual) sazonalidade (ex: amplitude anual em temperatura e precipitação) e factores ambientais extremos ou limitantes (ex: temperatura do mês mais frio e mais quente, e precipitação dos trimestres húmidos e secos) (Untalan *et al.*, 2019).

**Tabela 2.** Descrição das variáveis bioclimáticas

<b>Codigo</b>	<b>Variáveis bioclimáticas</b>	<b>Formato</b>
Bio_01	Temperatura media anual	Contínuo
Bio_02	Varição média diurna (média mensal (temp. máx – temp. min.))	Contínuo
Bio_03	Isotermalidade	Contínuo
Bio_04	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão 100)	Contínuo
Bio_05	Temperatura máxima do mês mais quente	Contínuo
Bio_06	Temperatura mínima do mês mais frio	Contínuo
Bio_07	Amplitude de temperatura anual	Contínuo
Bio_08	Temperatura media do trimestre mais húmido	Contínuo
Bio_09	Temperatura media do trimestre mais seco	Contínuo
Bio_10	Temperatura media do trimestre mais quente	Contínuo
Bio_11	Temperatura media do trimestre mais frio	Contínuo
Bio_12	Precipitação anual	Contínuo
Bio_13	Precipitação do mês mais úmido	Contínuo
Bio_14	Precipitação do mês mais seco	Contínuo
Bio_15	Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)	Contínuo
Bio_16	Precipitação do trimestre mais úmido	Contínuo
Bio_17	Precipitação do trimestre mais seco	Contínuo
Bio_18	Precipitação do trimestre mais quente	Contínuo
Bio_19	Precipitação do trimestre mais frio	Contínuo

### 10.5. Aquisição das propriedades físicas e químicas do solo

Os dados das variáveis das propriedades físicas e químicas do solo foram extraídos no banco de dados armazenados no *site*: (<https://soilgrids.org/>) no formato de imagem (TIF) há uma profundidade de 0-5 cm. As variáveis obtidas foram as seguintes:

**Tabela 3.** Classes das variáveis, nome de cada tipo de variável, fonte e formato

Soilgrids classes das variáveis	Soilgrids tipos de variáveis (em cada classe)	Codigo	Link	Formato
Propriedade derivada	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Densidade de carbono orgânico</li> <li>✓ Estoque de carbono orgânico do solo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ O_C_D</li> <li>✓ Soc_stok</li> </ul>	<a href="https://soilgrids.org/">https://soilgrids.org/</a>	Contínuo
Classe do solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Base de referência mundial (2006) grupo de solos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Soil_class</li> </ul>	<a href="https://soilgrids.org/">https://soilgrids.org/</a>	Contínuo
Solo fisico	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Densidade aparente</li> <li>✓ Teor de argila</li> <li>✓ Fragmento grosseiro</li> <li>✓ Areia</li> <li>✓ Lodo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Bulk_Dty</li> <li>✓ Clay_cont</li> <li>✓ Coarse_frg</li> <li>✓ sand</li> <li>✓ Silt</li> </ul>	<a href="https://soilgrids.org/">https://soilgrids.org/</a>	Contínuo

Solo químico	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Capacidade de troca catiônica (em ph 7)</li> <li>✓ Nitrogênio</li> <li>✓ Ph da água</li> <li>✓ Carbono Orgânico do solo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ C_ex_C</li> <li>✓ nitro</li> <li>✓ Ph_agua</li> <li>✓ Soil_org_car</li> </ul>	<a href="https://soilgrids.org/">https://soilgrids.org/</a>	Contínuo
--------------	---	--	---	----------

### 10.6. Aquisição de outros Dados Abióticos

As camadas ambientais estão geralmente em formato *raster* (*GRID*, *TIFF* ou *IMG*) (Dalapicolla, 2015). Essas imagens são divididas em pequenas quadrículas chamadas células (*cells*) ou *pixels* e cada pixel possui um valor numérico, correspondente ao valor da variável ambiental representada. Existem dois tipos de variáveis/camadas ambientais, as contínuas e as categóricas. Os dados ambientais contínuos (ou numéricos) são os mais usados em Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE), como os dados climáticos (temperatura e precipitação) e os topográficos (elevação e inclinação do terreno) (Dalapicolla, 2016).

**Tabela 4.** Referente a outros parâmetros ambientais utilizados na modelagem desde a descrição dos dados abióticos, fonte, formato, e código.

Dados	Link	Formato	Código
Densidade Populacional	<a href="https://www.ine.gov.mz/censo-2017">https://www.ine.gov.mz/censo-2017</a>	Categórica	Dens_2000 Dens_2005 Dens_2010 Dens_2015
Índice de Influência Humana	<a href="https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C179001808-SEDAC.html">https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C179001808-SEDAC.html</a>	Contínua	IIH_mz

Declive	<a href="https://gdemdl.aster.jspacesystems.or.jp/index_en.html">https://gdemdl.aster.jspacesystems.or.jp/index_en.html</a>	Contínua	slope
Elevação	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>	Contínua	elevacao
Uso e Cobertura da Terra	<a href="https://esa.worldcover.org/en">https://esa.worldcover.org/en</a>	Contínua	Land2015

### 10.7. Preparação e limpeza dos dados

Todos os pontos de ocorrência colectados foram ser conferidos um a um, após á conferencia foram eliminados os pontos redundantes (Dalapicolla, 2016). Os pontos de ocorrência da espécie foram obtidos no portal Global Biodiversity Information Facility (GBIF - gbif.org). A escolha por esse portal se deve à facilidade de aquisição dos registros de ocorrência em escala global, porém, o GBIF (Global Biodiversity Information Facility) apresenta uma série de incongruências no que se referem a confiabilidade do georreferenciamento dos dados e a identificação taxonômica da espécie (Cordeiro, 2018). Os 7 pontos de ocorrência já existentes da “*Warneckea sessilicarpa*” extraídos do portal da Agência Global para a Informação sobre Biodiversidade (GBIF), foram organizados no programa *Microsoft Excel* 2016 onde realizou-se o processo de limpeza de dados numa matriz excel, onde foram excluídos os campos de informações excedentes, deixando apenas a coluna de identificação de espécies e as colunas que continham longitude e latitude da ocorrência da espécie (Espécie, Longitude e Latitude).

As coordenadas geográficas da espécie foram armazenadas em graus decimais e a latitude e a longitude foram substituídos por letras como X e Y respectivamente, esses dados foram convertidos no formato *CSV (Comma-Separated Values)*, que é o formato necessário para as amostras de entrada no software MaxEnt para a construção dos modelos (Young *et al.*, 2011). Posteriormente, foi realizada a correção das imprecisões das coordenadas geográficas no software *ArcGis 10.8*. perfazendo assim um total de 3 ocorrências para “*Warneckea sessilicarpa*”. Numa outra tabela Excel os dados de ocorrência colectados no âmbito do projecto (*Population Ecology Assessment of Warneckea sessilicarpa*), foram igualmente organizados, porém não foi necessário fazer a limpeza dos dados e a correção das imprecisões das ocorrências porque encontrava-se bem georreferenciadas perfazendo assim um total de 35 ocorrências.

Área de interesse/fundo (*Background*) é a área de estudo em que se utiliza na modelagem (Dalapicolla, 2016). Para fazer a modelagem da espécie “*Warneckea sessilicarpa*” fez-se o recorte com os limites geográficos de Moçambique, que é considerado igualmente a área de estudo na zona costeira das províncias de Zambézia e Nampula, no Centro de Endemismo do Rovuma. Trabalhos publicados sugerem que a área de estudo não deve incluir áreas onde a espécie está ausente devido a limitações de dispersão ou interações bióticas (especialmente competição) (Anderson & Raza 2010 & Dalapicolla, 2016). Isso ocorre porque pontos de *background* retirados de ambientes inadequados em tais regiões fornecerão um sinal falso negativo que interfere na modelagem o que superestima os valores de AUC (Cálculo da Área sob a Curva) e aumenta o sobreajuste dos modelos (Anderson & Raza 2010 & Dalapicolla, 2016).

As variáveis ambientais na maioria das vezes estão escala mundial ou continental, então é preciso cortá-las, em ambiente *SIG* (*Sistema de Informação Geográfica*), para restringi-las à área de interesse, de acordo com o objetivo da modelagem (Dalapicolla, 2016). As variáveis rasters sócio-ambientais mencionadas nas tabelas 2, 3 e 4 foram recortadas e as suas propriedades ajustadas com uma única variável (Bio\_01) para a área de estudo, antes da modificação as variáveis extraídas do *Soilgrids* (*Global Gridded Soil information*) eram imagens de dimensão curtas (250 m) quando importadas para o (software *ArcGIS 10.8*). De seguida gerou-se um mosaico das camadas e foram recortadas sobre a área de interesse as camadas foram ajustadas para terem a mesma extensão, resolução espacial, tamanho de célula e sistema de coordenadas (um requisito de entrada para *MaxEnt*) (Young *et al.*, 2011).

Ainda no ambiente *ArcGIS 10.8* as camadas *rasters* sócio-ambientais foram convertidas para o formato *ASCII* (*American standard code for information interchange*) através do uso da ferramenta de conversão, em seguida guardou-se no formato (*asc*). O *MaxEnt* só lê as variáveis ambientais no formato *ASCII*, por isso é necessário convertê-las do formato *raster* para *ASCII* (Dalapicolla, 2016). E para saber se todas as camadas criadas estão alinhadas e com o mesmo número de *pixel*, foi necessário abrir cada arquivo (*asc*) no bloco de notas e ajusta-las. Diferenças no número de linhas, colunas ou no tamanho da célula podem fazer com que o *MaxEnt* dê erro, bem como o número de casas decimais depois da vírgula no tamanho da célula já é o suficiente para o *MaxEnt* não funcionar (Dalapicolla, 2016).

No ambiente *ArcGIS 10.8* as variáveis recortadas, com a ajuda da ferramenta *Data* foram convertidas para o formato TIF (imagem) em seguida foram inseridas no software (*ENVI Classic*) para obtenção dos valores da distância de cada variável, os valores das distâncias foram gravados numa planilha *excel 2016* no formato *CSV*, para aquisição da matrix de correlação. Alguns pesquisadores defendem a escolha de variáveis baseadas em relações conhecidas entre ambiente e fisiologia da espécie-alvo (Kearney *et al.*, 2008; Rodder *et al.*, 2009 e Dalapicolla, 2016).

No software (*Rstudio versão 4.1.1*) importou-se a planilha contendo os valores das distâncias de todas variáveis, foi necessário activar pacotes como *Correlation*, *Corrplot*, *COR* e *Plot* para obtenção da matriz de correlação, o método usado foi o do “*spearman*”. Este coeficiente exige que as variáveis supostamente correlacionadas, sejam medidas em escala ordinal (Bauer, 2007). É uma medida não paramétrica de correlação de postos (dependência estatística entre a classificação de duas variáveis), a correlação de *Spearman* avalia relações monótonas, sejam elas lineares ou não (Lehman *et al.*, 2013). Em seguida foram selecionadas as variáveis menos correlacionadas durante a criação dos modelos, como forma de minimizar o sobreajuste dos modelos (Dalapicolla, 2016).

## **11. Análise de Dados**

### **11.1. Avaliação do estado de ameaça**

A Lista Vermelha da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN) usa duas medidas principais de critério geográfico na avaliação do estado de conservação de um táxon: extensão de ocorrência e área de ocupação (IUCN, 2001). A extensão de ocorrência (EOO) refere-se ao menor limite contínuo possível em torno de todos os locais conhecidos ou projetados onde o táxon específico ocorre (IUCN, 2022). A área de ocupação, por outro lado, é definida como a área dentro da extensão de ocorrência que é realmente ocupada pelo táxon. Esta medida representa a quantidade de habitat adequado dentro da extensão de ocorrência (Willis *et al.*, 2003 e Bachman *et al.*, 2011). A área de ocupação (AOO) contabiliza apenas a área em que a espécie ocupa (Willis *et al.*, 2003). Neste estudo foi aplicado o critério B (Alcance geográfico seja na forma de B1 (extensão de ocorrência) E / OU B2 (área de ocupação), referente a extensão de ocorrência (EOO) e área de ocupação (AOO). Essas duas métricas espaciais estabelecidas pela Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas (IUCN) representam as distribuições de espécies e apoiam as avaliações de risco de extinção de espécies (Palácio *et al.*, 2021).

**Tabela 5.** Referente ao critério B da lista vermelha da IUCN, Utilizado para avaliar se a espécie em estudo pertence alguma categoria de ameaça.

<b>Categorias de ameaças</b>	<b>Criticamente em perigo</b>	<b>Em perigo</b>	<b>Vulnerável</b>
	<100 km <sup>2</sup>	<5000 km <sup>2</sup>	<20 000 km <sup>2</sup>
<b>B1.</b> Extensão de ocorrência			
<b>B2.</b> Área de ocupação	<10 km <sup>2</sup>	<500 km <sup>2</sup>	< 2000 km <sup>2</sup>
<b>E pelo menos 2 das seguintes 3 condições</b>			
<b>(a)</b> Severamente fragmentada ou número de localizações	= 1	≤5	≤10
<b>(b)</b> Declínio continuado observado, estimado, inferido ou projectado em qualquer uma de: (i) extensão de ocorrência; (ii) área de ocupação; (iii) área, extensão ou qualidade de habitat; (iv) número de localizações ou subpopulações; (v) número de indivíduos maduros			
<b>(c)</b> Flutuações extremas em qualquer uma de: (i) extensão de ocorrência; (ii) área de ocupação; (iii) número de localizações ou subpopulações; (v) número de indivíduos maduros			

O critério B foi delineado para identificar populações com distribuições restritas e ao mesmo tempo severamente fragmentadas ou com poucas localizações condicionadas à ameaça, passando por uma forma de declínio continuado e/ou exibindo flutuações extremas (no presente ou no futuro próximo) (IUCN, 2022).

## 11.2. Procedimentos para estimar a extensão de ocorrência (EOO) e área de ocupação (AOO)

No processo de avaliação efectua-se um cruzamento de dados entre a informação disponível para espécie e os limiares dos critérios e subcritérios para cada uma das categorias, seleccionando-se obrigatoriamente a categoria de ameaça mais elevada na qual a espécie se enquadra e identificando-se todos os critérios e subcritérios que a justificam (IUCN, 2012a, b).

A extensão de ocorrência (EOO) deve ser calculado aplicando o mínimo polígono convexo também chamado de *convex hull* (o menor polígono em que nenhum ângulo interno excede 180 graus e que contém todos os locais de ocorrência) ao redor da faixa mapeada, que deve ser mapeada com a maior precisão possível com base em todos dados disponíveis (IUCN 2001, 2012b). A intenção por trás desse parâmetro é medir o grau em que os riscos de fatores ameaçadores estão espalhados espacialmente pela distribuição geográfica do táxon (IUCN 2001, 2012b). A extensão de ocorrência (EOO) da espécie “*Warneckea sessilicarpa* “ foi calculada no software *ArcGis versão 10.8* usando o método do mínimo polígono convexo (MCP). O polígono desenhado englobou todas as ocorrências conhecidas do táxon produzindo um limite com um nível de resolução muito grosseiro em sua superfície externa (Ostro *et al.* 1999). Este método é gerado ligando os pontos que englobam o conjunto de dados de ocorrência (Fey *et al.*, 2021).

As diretrizes da Lista Vermelha exigem que AOO seja dimensionado usando células de grade de 2 x 2 km (ou seja, com área de 4 km<sup>2</sup>) para garantir que as estimativas de AOO sejam compatíveis com a escala implícita dos limites (IUCN, 2011). A área de ocupação (AOO) da espécie “*Warneckea sessilicarpa*” foi estimada no software *ArcGis versão 10.8* usando o método padrão de grade, com a ajuda da ferramenta *Fishnet*, sobrepondo uma grade uniforme de 2 x 2 km<sup>2</sup> que cobre toda a distribuição da espécie, contando o número de células ocupadas pela espécie, e então calculada a área total de todas as células ocupadas, bem como ilustra a fórmula abaixo:

$AOO = \text{Nr. Células ocupadas} \times \text{Área de uma célula}$  (IUCN, 2022).

### 11.3. Construção dos modelos no Maxent

Depois da obtenção da matrix de correlação no programa rstudio, foram selecionadas as variáveis menos correlacionadas e outras variáveis foram selecionadas de acordo com a ecologia da espécie, as variáveis foram as seguintes: bioclimáticas e ambientais obtidas dos sites worldclim (<http://www.worldclim.org/bioclim>), SoilGrid (<https://soilgrids.org/>), densidade populacional (<https://www.ine.gov.mz/censo-2017>) e elevação (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

As variáveis selecionadas foram importadas para o programa MaxEnt versão 3.4.4, juntamente com os dados de ocorrência colectados em campo no âmbito do projecto (Population Ecology Assessment), coordenado pela professora Alice Massingue pelo “Fundo de Conservação de Espécies Mohamed Bin Zayed. As ocorrências referentes ao GBIF (Agência Global para a Informação sobre Biodiversidade) não foram adicionadas devido ao menor número de ocorrências disponível (3 ocorrências). O MaxEnt é bom trabalhando com poucos registros de ocorrência, até cerca de 8 registros, porém os parâmetros do MaxEnt mudam quando se tem poucos pontos (de 8 a 14 pontos) Se tem menos que 8 pontos então o MaxEnt não é recomendado (Dalapicola, 2016). Por conta disso não foi possível fazer a modelagem com os dados da GBIF (Agência Global para a Informação sobre Biodiversidade).

Para fazer os modelos de distribuição, os modelos foram elaborados com 35 registros de ocorrência georreferenciados da espécie colectadas em campo, os pontos de ocorrência serviram para testar e validar os modelos. No geral, os modelos foram configurados recorrendo às configurações específicas do MaxEnt. Os modelos foram calibrados usando uma amostra aleatória de pontos para teste e o restante para avaliação. As configurações específicas no MaxEnt para análise dos dados foram as seguintes:

- O modelo foi rodado usando a técnica de *Bootstrap*, que consiste na partição aleatória dos dados, com reposição, em vários conjuntos de treino e teste (Efron, 1979 e Texeira, 2018).
- O número de iterações foi definido como sendo 5000 para permitir tempo suficiente para a convergência (Young *et al.*, 2011). E o modelo foi definido para gerar 500 réplicas onde foram selecionados 75% dos dados para treinamento e 25% para teste do modelo.

- Valor de corte em relação ao número de amostras usados para construir os modelos foi de percentil 10.
- Suporte da convergência para o intervalo de valores em que se aceita o modelo foi de 0,00001.
- O número máximo de pontos de fundo foi de 10.000
- A validação do Modelo para a espécie “*Warneckea sessilicarpa*”

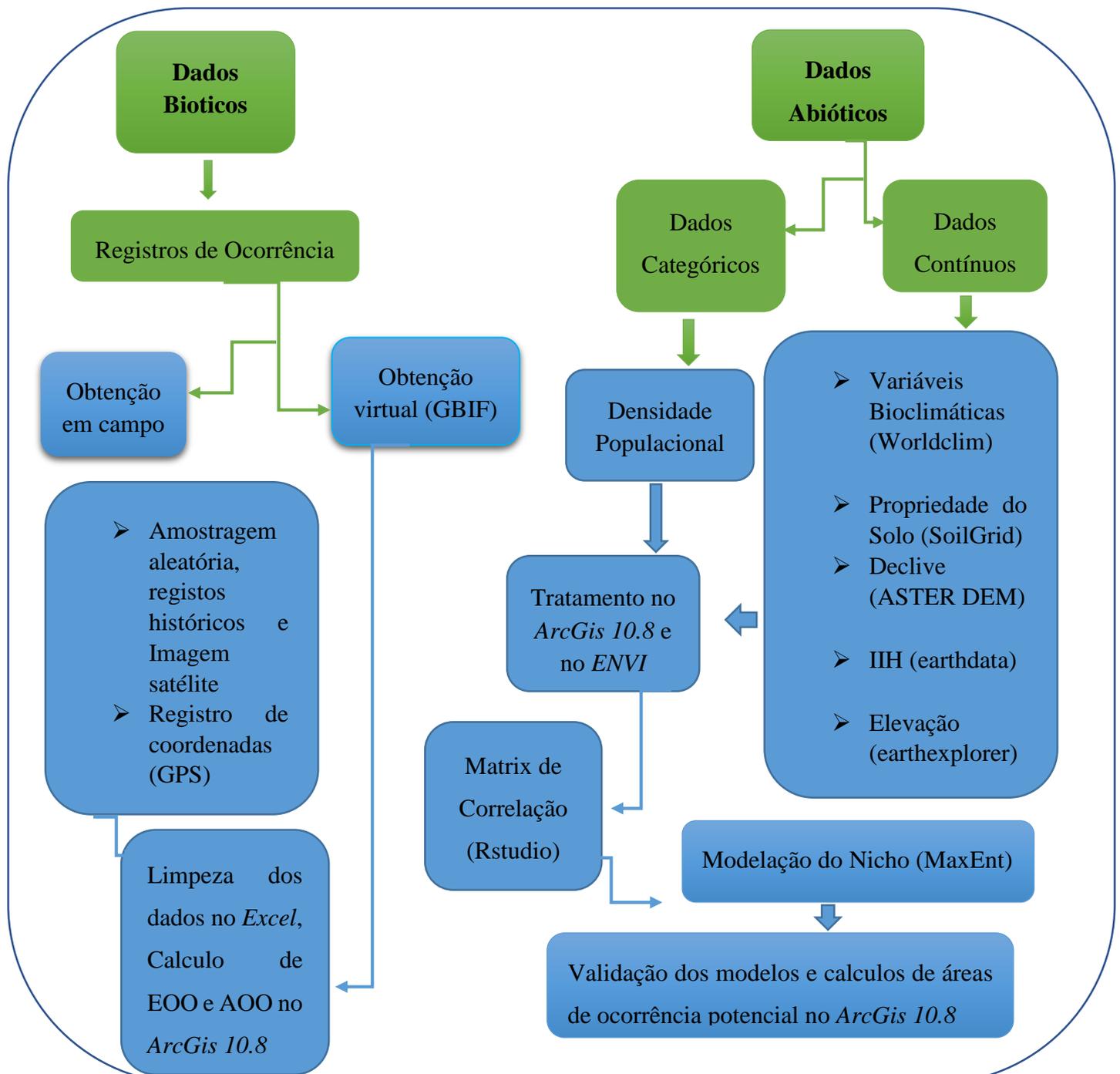
A validação é etapa de avaliação, são os testes estatísticos para analisar se os modelos propostos são bons (Dalapicolla, 2019). O MaxEnt tem uma forma própria de avaliar os modelos e dá o resultado como uma tabela no *output*, há dois tipos de validação, a dependente de limite de corte (*threshold*) que são índices baseados na matriz de confusão e a avaliação independente de limite de corte (*threshold*) que são áreas sob as curvas ROC (AUC – *area under curve*) (Liu *et al.*, 2005).

A avaliação dos modelos gerados pelo MaxEnt é baseada em função do objectivo da pesquisa, que visa compreender qual é a distribuição potencial da *Warneckea sessilicarpa*, dado o incremento de novos dados e ameaças recentes através duma avaliação estatística dos mapas e gráficos gerados pelos modelos, os modelos foram construídos com base nos registros de ocorrência da espécie colectados em campo e as variáveis sócio-ambientais.

Durante o processo, foram considerados os limites de Cortes (*threshold*) para transformar o modelo calculando a área da distribuição, sendo obtidos valores binários de presença (1) e ausência (0), em um mapa binário (ilustrando a presença e ausência da espécie) no programa *ArcGis versão 10.8*. Onde o valor de corte foi considerado acima do limite de corte da espécie gerado pelo modelo (0.5) (Dalapicolla, 2016). Valores alto de limite de corte são mais conservadores, geram resultados mais restritos e valores baixos de limite de corte são mais abrangentes e pouco específicos (Liu *et al.*, 2005). Os limites de corte mais utilizados na literatura são: o limite de corte mínimo (*Minimum training presence logistic threshold*), o limite de corte de 10% (*10 percentile training presence logistic threshold*) e o limite de corte máximo (*Maximum test sensitivity plus specificity logistic threshold*) (Dalapicolla, 2016).

Foi obtida a Curva de Característica de Operação do receptor (curva ROC), onde o cálculo da área sob a curva (AUC) forneceu uma medida do desempenho do modelo gerado. Como uma medida de ajuste do modelo, posteriormente foram geradas áreas de distribuição potencial

Produzidos pelos modelos e o contributo relativo das variáveis ambientais e a importância da permutação. Para exibição e análise posterior, prevendo a presença da espécie (0-1), foram reclassificados no *ArcGis 10.8* com uma referência da classificação proposta por Yang *et al.*, (2013) em cinco classes potenciais: habitat inadequado (0 a 0,2); habitat pouco adequado (0,2 a 0,4); habitat adequado (0,4 a 0,6); habitat altamente adequado (0,6 a 0,7); habitat muito altamente adequado (0,7-1,0) (Gaia *et al.*, 2020).



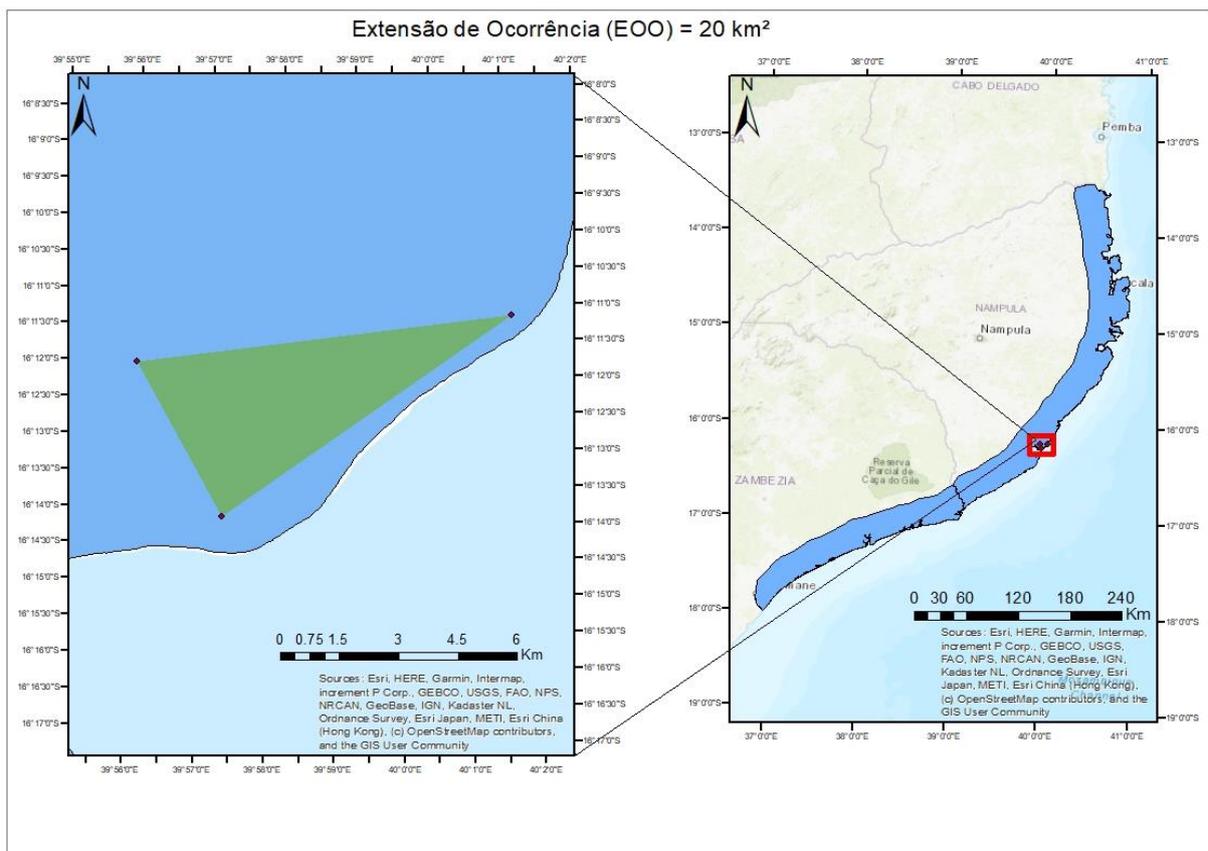
**Figura 8:** Diagrama do trabalho e programas informáticos usados no processamento mostrando os componentes da modelagem de distribuição da espécie

## 12. Resultados e Discussão

### 12.1 Avaliação do Estado de Conservação (Extensão de Ocorrência (EOO))

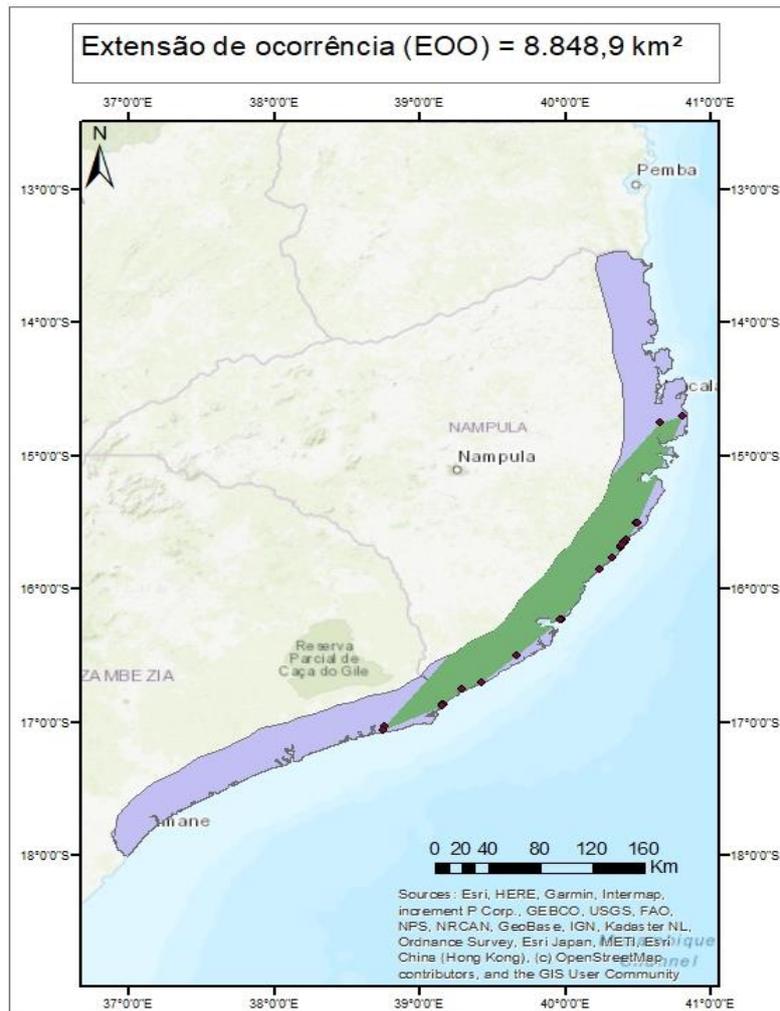
A reavaliação da espécie sob o critério B1 com ocorrências provenientes da GBIF (A. Ocorrências da GBIF). Produziu uma extensão de ocorrência (EOO) de aproximadamente 20 km<sup>2</sup>, alocando a espécie na categoria de Criticamente em Perigo (CR) sob o subcritério B1: EOO <100km<sup>2</sup>. Com as novas ocorrências (B. Novas Ocorrências), a extensão de ocorrência (EOO) da espécie foi estimada em aproximadamente 8.884, 9 km<sup>2</sup>, reduzindo automaticamente a sua categoria de ameaça de Criticamente em Perigo (CR) para Vulnerável (VU) sob o subcritério B1: EOO <20.000km<sup>2</sup>. Os novos dados apresentaram maior número de ocorrências da espécie (35 ocorrências) em relação aos dados provenientes da plataforma Global Biodiversity Information Facility (GBIF - gbif.org) GBIF (7 ocorrências).

#### A. Ocorrências provêníentes do GBIF



**Figura 9:** Extensão de ocorrência (EOO) gerado a partir de dados provêníentes do GBIF

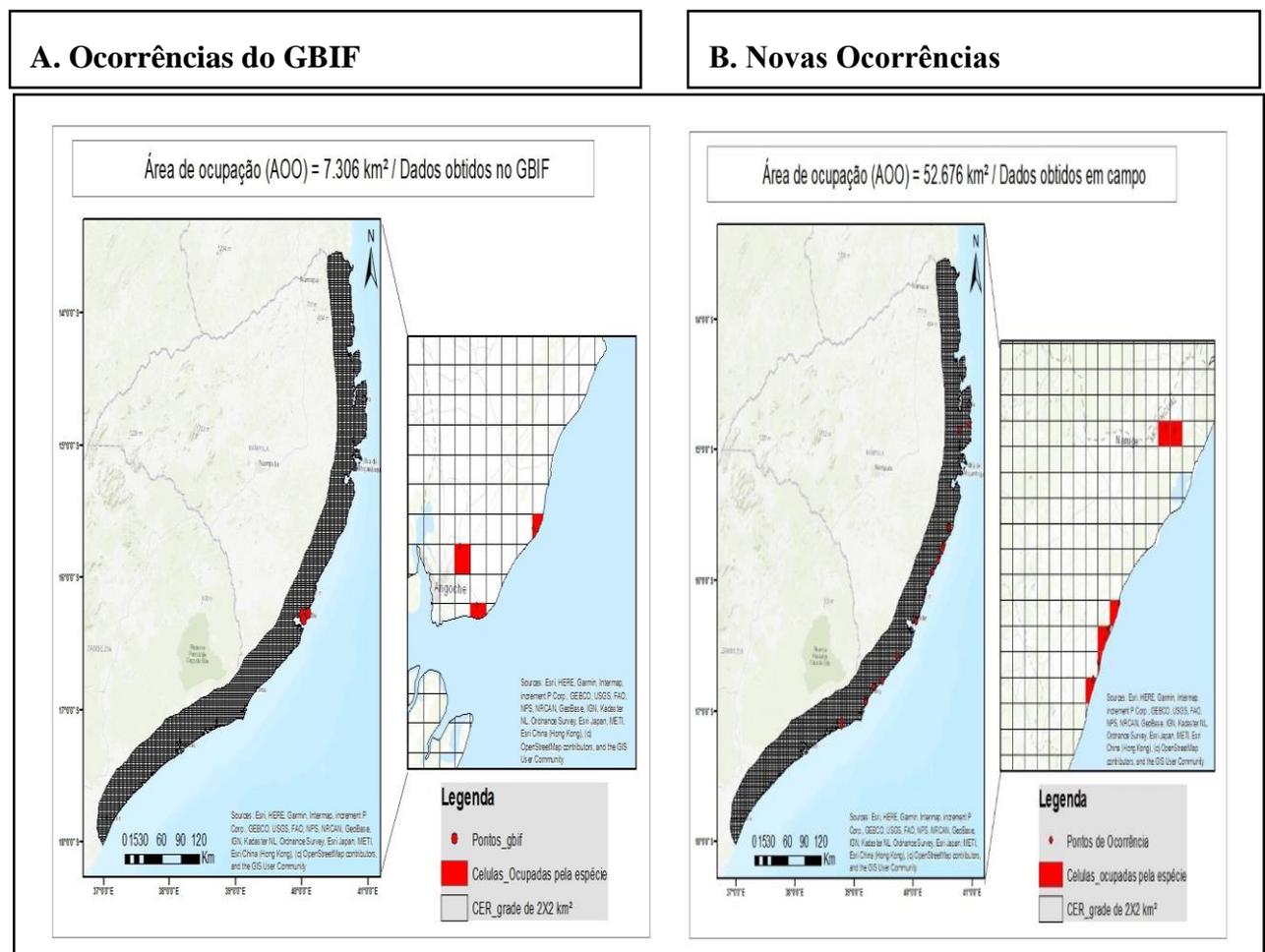
## B. Novas Ocorrências



**Figura 10:** Extensão de ocorrência (EOO) gerado a partir de novos dados

## 12.2. Área de ocupação (AOO)

A reclassificação da área de ocupação (AOO) da *Warneckea sessilicarpa* com ocorrências provenientes da GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*) ilustrado na figura abaixo pelo ponto A (A. Ocorrências da GBIF) produziu uma área de ocupação (AOO) de aproximadamente 7.306 km<sup>2</sup> que sugere que esta espécie seja categorizada em Criticamente em Perigo (CR) de extinção sob o subcritério B2: AOO <10km<sup>2</sup>. Com as novas ocorrências colectadas em campo, a área de ocupação ilustrado pelo ponto B (B. Novas Ocorrências) foi estimada em aproximadamente 52.676 km<sup>2</sup> sob o subcritério B2: que sugere que esta espécie seja categorizada em Perigo (EN) de extinção AOO <500 km<sup>2</sup>. As ocorrências colectadas em campo contabilizaram um total de 18 células de grade ocupadas pelas ocorrências contra 3 células de grade ocupadas pelas ocorrências adquiridas no GBIF.



**Figura 11:** No ponto A (A. Ocorrências provêmientes do GBIF) encontra-se a área de ocorrência AOO gerado a partir de dados provêmientes da GBIF e no segundo ponto B (B. Novas Ocorrências) encontra-se a área de ocorrência AOO gerado a partir de novos dados.

Darbyshire *et al.*, (2019) fez a avaliação da espécie em estudo, utilizando os registros limitados de ocorrência da espécie disponíveis no *site* da Agência Global para a Informação sobre Biodiversidade (GBIF) na qual a extensão de ocorrência (EOO) foi estimada em aproximadamente 20 km<sup>2</sup> e a área de ocupação (AOO) foi de 12 km<sup>2</sup>, alocado assim a espécie na categoria de Criticamente em Perigo (CR) pelo critério B de distribuição geográfica restrita e apresentando fragmentação, declínios ou flutuações - B1ab (iii, v). Devido a ausência de dados quantitativos populacionais disponíveis para esta espécie o critério B é frequentemente usado na ausência de qualquer informação sobre o tamanho, densidade ou estrutura da população (Darbyshire *et al.*, 2019; IUCN, 2022). Os resultados obtidos por Darbyshire *et al.*, (2019) evidenciam que dados incompletos e não representativos muitas vezes dificultam a preservação eficiente da biodiversidade, e o processo de colmatar estas lacunas é um desafio alarmante para os governos dos países em desenvolvimento tal como é o caso de Moçambique (He, 2009; Silveira *et al.*, 2018; Omar e Elgamal, 2021). De acordo com o Comitê de Padrões e Petições da IUCN (2019), tanto a extensão de ocorrência (EOO) quanto a área de ocupação (AOO) podem ser calculados a partir dos locais conhecidos, inferidos ou previstos de ocorrências observadas, justificando assim uma das condições para a reavaliação dessa espécie no presente estudo.

Os resultados obtidos no presente estudo podem confirmar que a mudança de categoria é o resultado de um melhor conhecimento sobre o táxon, devido a informações novas ou recentemente sintetizadas sobre o status do táxon, melhores estimativas do tamanho da população, tamanho da distribuição ou da taxa de declínio (IUCN, 2022).

O incremento de dados de ocorrência da espécie em estudo colectados em campo, reduziu a categoria de ameaça anteriormente estimada por Darbyshire *et al.*, (2019) de Criticamente em Perigo (CR) para Em Perigo (EN) sob subcritério B2 referente a Área de ocupação (AOO) e Vulnerável (VU) sob subcritério B1 referente a extensão de ocorrência (EOO) (10 km<sup>2</sup> < AOO < 500 km<sup>2</sup> e 100 km<sup>2</sup> < EOO < 20,000 km<sup>2</sup>) (IUCN, 2001). Confirmando que valores quantitativos podem estabelecer os limiares entre as categorias da Lista Vermelha CR, EN, EN, VU e NT (Collen *et al.*, 2016). Entretanto neste estudo, a espécie qualificou-se para categoria de ameaça de Em Perigo (EN) - B2ab (i, ii,iii,iv ev) do subcritério B2 referente a Área de ocupação (AOO) da lista vermelha da IUCN (IUCN, 2022).

Área de ocupação (AOO) pode ser uma métrica útil para identificar espécies em risco de extinção devido ao pequeno tamanho da população, quando não há dados para estimar o tamanho e estrutura da população (Keith 1998, IUCN, 2022). O requisito de escala aplica-se somente ao cálculo de área de ocupação (AOO) devido ao seu papel como uma medida de efeito de segurança sobre o risco de extinção, em vez de uma medida precisa da área de habitat ocupada (Keith *et al.* 2018). A medida reflecte o fato de que um táxon geralmente não ocorrerá em toda a área de sua extensão de ocorrência, que pode conter habitats inadequados e desocupados, portanto a extensão de ocorrência é um parâmetro que mede o tamanho da distribuição geográfica da espécie, mas inclui habitat adequado e inadequado sendo considerado menos conservacionistas (Willis *et al.*, 2003; Bachman *et al.*, 2011; IUCN, 2022).

Num estudo, efectuado em 2016 por Millaku e seus colaboradores, sobre a Avaliação da conservação das plantas endémicas do Kosovo no sudoeste da Europa demonstraram que ausência de dados recentes, relativos às plantas endémicas da República do Kosovo, é uma das principais razões pelas quais as plantas estão classificadas tão baixo na Lista Vermelha de Plantas Ameaçadas da IUCN (Walter & Gillett 1997). Este estudo entra em concordância com o trabalho realizado por Omar e Elgamal, (2021) sobre a Lista Vermelha da IUCN e Modelos de Distribuição de Espécies como ferramentas para a conservação de espécies pouco conhecidas: um estudo de caso de plantas endêmicas *Micromeria serbaliana* e *Veronica kaiseri* no Sul do Sinai, Egito. Omar e Elgamal, (2021) actualizaram o estado de conservação dessas duas espécies endémicas com distribuição restrita, em decorrência da avaliação anterior realizada em 2017 por Omar mediante o uso de poucos dados históricos disponíveis desde 1998 quase 19 anos depois, onde as duas espécies foram alocadas na categoria de Criticamente em Perigo (CR) pelos critérios da IUCN, em 2017 foram realizados extensos levantamentos botânicos onde os resultados desses levantamentos trouxeram uma ótima notícia, as duas espécies foram registradas em 14 locais, a maioria dos quais não históricos (dez locais para *M. serbaliana* e cinco locais para *V. kaiseri*), em uma área restrita muito pequena de altas montanhas. Esses dados recentes rebaixaram em 2021 o estado de conservação dessas duas espécies endémicas para a categoria de ameaça Em perigo (EN). Fundamentando dessa forma que a qualidade e quantidade dos dados são uma das principais causas de rebaixar a categoria de ameaça de uma espécie (Paglia & Fonseca, 2009; Paglia *et al.*, 2012).

A ausência de dados sobre a distribuição atual de espécies endémicas, medidas de conservação, características da população, habitat e estado ecológico, ameaças e quaisquer outros dados

relevantes prejudicam significativamente a eficácia dos programas de conservação integrados para proteger as espécies da extinção. É possível que algumas espécies sejam consideradas extintas antes que informações precisas sobre elas sejam coletadas (Butchart *et al.*, 2010; Maxwell *et al.*, 2016). O uso de dados de boa qualidade para desenvolver estratégias de gestão melhora o sucesso da sua aplicação, sugerindo que o investimento adicional em novas campanhas de campo é preferível ao aumento de conhecimento fragmentado com ajuda de peritos, apesar dos custos económicos poderem ser superiores a curto prazo os ganhos esperados são maiores em termos de razão e entre o custo efectivo e o sucesso de conservação (Hortal *et al.*, 2005). Dados robustos de distribuição podem preencher lacunas existentes nas bases de dados conferindo maior confiança e utilidade na tomada de decisão (Corvelo, 2010).

A classificação efectuada por Darbyshire *et al.*, (2019) demonstraram que ameaças como: Mineração, Empreendimento residencial e agricultura afectam fortemente o habitant da *Warneckea sessilicarpa* esses resultados corroboram com os dados recentes colectados por Massingue e seus colaboradores em 2022 que confirmam 9 localidades antes desconhecidas, concretamente em Matibane, Serra Mesa, Mongicual, Quinga, Mulimone, Mucoroge, Pilivili e M'Pago na província de Nampula e Moebase na Província de Zambézia todas essas localidades mostraram alta pressão com elevada pressão sobre os recursos naturais devido à procura de terras agrícolas, habitação, colheita de carvão e madeira (IUCN, 2019).

### **12.3. Matriz de correlação**

Dada a disponibilidade de uma ampla gama de variáveis ambientais (incluindo climáticas), a inclusão de variáveis ambientais correlacionadas (covariáveis) dentro do MDE não é recomendada, pois isso pode levar a modelos superajustados com uso limitado (Kriticos *et al.*, 2012 e Matimele, 2016). A seleção das variáveis preditoras (sócio-ambientais) para o modelo deve considerar a espécie em questão, sua biologia e ecologia, bem como a sua relação no ambiente onde ocorre, é importante que as variáveis ambientais selecionadas sejam funcionalmente relevantes para a espécie (Elith e Leathwick, 2009). Foram utilizadas 14 variáveis selecionadas de um total de 39 variáveis para a construção dos modelos, as 14 variáveis selecionadas tinham alguma conexão postulada com as exigências ecológicas da espécie, bem como evitar que as variáveis muito relacionadas fossem inseridas no modelo



Peterson *et al.*, (2011) concluíram que o uso de muitas variáveis pode acabar sendo intensificado quando não existe um conhecimento prévio dos fatores chaves que afetam a distribuição das espécies, entretanto no geral, não é recomendado utilizar muitas variáveis, porque o uso de muitas variáveis reduz a autocorrelação ambiental entre as variáveis ambientais e escolher quais camadas devem ser usadas nos modelos para diminuir a complexidade e assim o sobreajuste ou *overfitting* é fundamental para construir mapas de distribuição potencial (Dalapicolla, 2016). Apesar de não ser considerado adequado incluir muitas variáveis também não é recomendado utilizar poucas variáveis. O problema de trabalhar com poucas variáveis reside no fato de que o pesquisador correrá o risco de não caracterizar adequadamente o nicho da espécie (Peterson *et al.*, 2011).

Os critérios de seleção de variáveis são delineados em cinco critérios baseados na natureza da escolha das variáveis: arbitrário, axiomático, biológico, estatístico e o metodológico (Negrão, 2015). Os critérios de seleção de variáveis considerados neste estudo são: biológico que consiste nas características biológicas do da espécie “*Warneckea sessilicarpa*” e estatístico que consiste na análise ou princípio estatístico. Na tabela 6 segue em anexo as variáveis ambientais selecionadas para o processo de modelagem de distribuição da espécie em estudo que apresentaram menor colinearidade ambiental.

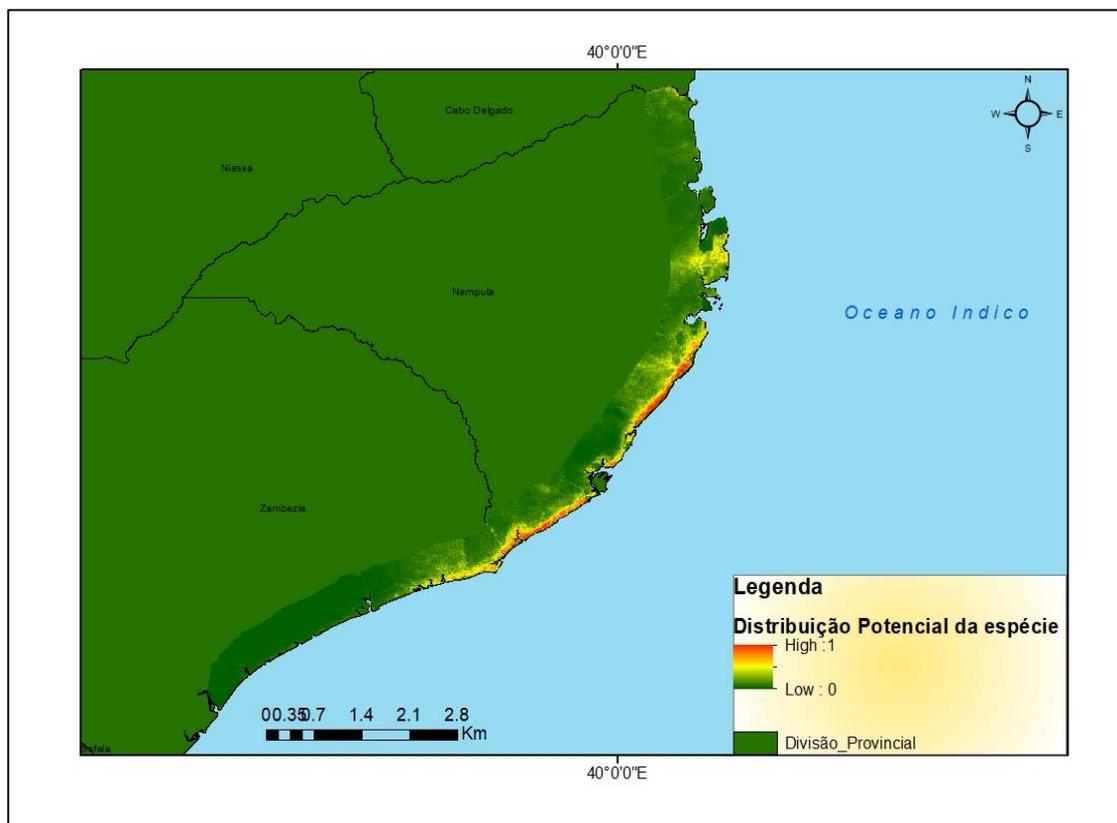
**Tabela 6.** Variáveis selecionadas a partir do matrix de correlação para construção dos modelos

Abreviatura	Variáveis	Link
Bio_17	Precipitação do trimestre mais seco	<a href="http://www.worldclim.org/bioclim">www.worldclim.org/bioclim</a>
Bio_07	Taxa de temperatura anual	<a href="http://www.worldclim.org/bioclim">www.worldclim.org/bioclim</a>
O_C_D	Densidade de carbono orgânico	<a href="https://soilgrids.org/">https://soilgrids.org/</a>
Bio_10	Temperatura média do trimestre mais quente	<a href="http://www.worldclim.org/bioclim">www.worldclim.org/bioclim</a>
Bio_03	Isotermalidade	<a href="http://www.worldclim.org/bioclim">www.worldclim.org/bioclim</a>
Dens_2000	Densidade Populacional	<a href="https://www.ine.gov.mz/censo-2017">https://www.ine.gov.mz/censo-2017</a>
Bio_09	Temperatura media do trimestre mais seco	<a href="http://www.worldclim.org/bioclim">www.worldclim.org/bioclim</a>
Bio_13	Precipitação do mês mais úmido	<a href="http://www.worldclim.org/bioclim">www.worldclim.org/bioclim</a>
Elevacao	Elevação	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
silt	Lodo	<a href="https://soilgrids.org/">https://soilgrids.org/</a>
Sand	Areia	<a href="https://soilgrids.org/">https://soilgrids.org/</a>

Bio_11	Temperatura media do trimestre mais frio	<a href="http://www.worldclim.org/bioclim">www.worldclim.org/bioclim</a>
Bio_01	Temperatura media anual	<a href="http://www.worldclim.org/bioclim">www.worldclim.org/bioclim</a>
Bio_16	Precipitação do trimestre mais úmido	<a href="http://www.worldclim.org/bioclim">www.worldclim.org/bioclim</a>

#### 12.4. Mapa de Distribuição da Espécie gerado pelo MaxEnt

Darbyshire e seus colaboradores no ano de 2019 confirmaram que a quantidade de dados disponíveis no GBIF (3 ocorrências) restringiam os limites geográficos da ocorrência da espécie apenas ao distrito de Angoche, Província de Nampula. Com as novas ocorrências colectadas em campo o presente estudo produziu o primeiro mapa de distribuição geográfica potencial da *W. sessilicarpa* para o Centro de Endemismo Rovuma, resultante do ajuste dos pontos de ocorrências e às variáveis ambientais com o uso do Maxent parametrizado conforme já descrito e apresentada na Figura 13, onde pode-se compreender que as áreas com habitat apropriado superam às áreas de ocorrência relatada em estudos anteriores, a cor vermelha indica alta probabilidade de ocorrência da espécie e a cor amarela indica habitats a apropriados para ocorrência da espécie entretanto a cor verde indicam baixa probabilidade de ocorrência da espécie.



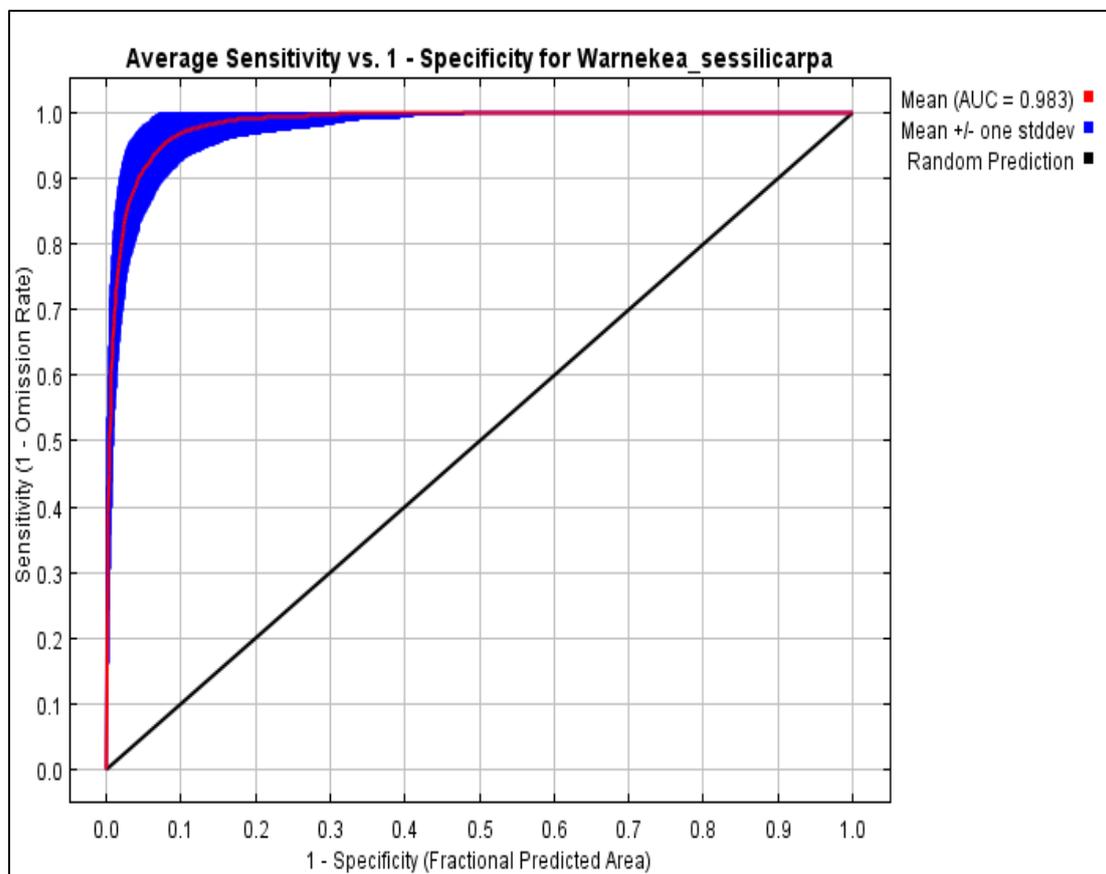
**Figura 12:** Mapa de distribuição potencial da *Warneckea sessilicarpa* onde a cor azul evidência a presença da espécie indicada pelo número 1, a cor amarela significa que existe uma probabilidade e condições de ocorrência da espécie e a cor vermelha reflete a ausência da espécie indicada pelo número 0.

Os resultados ilustram que o habitat altamente adequado é o limite costeiro das províncias de Zambézia concretamente o extremo sul de Pebane e Nampula, correspondente a 3% do limite costeiro adequando, embora tenha sido observado numa área montanhosa (serra-mesa) mas ao norte de Nampula. Esta observação pode ser justificada através da flora associada de espécies vegetais que coexistem com a espécie-alvo, influenciando significativamente a ecologia da espécie-alvo (Ariella, 2021). Massingue e seus colaboradores em 2022 confirmaram que a espécie *W. sessilicarpa* ocorre principalmente associada às seguintes espécies vegetais: *Haplocoelum foliosum* Var. *mombasense*, *Coptosperma littorale*, *Ancylobothrys petersiana*, e *Croton pseudopulchellus*. Kaky e Gilbert (2016) confirmaram que a temperatura e a precipitação controlam a distribuição das plantas, especialmente em ambientes montanhosos isto pode ser justificado porque o clima e o solo são variáveis de grande influência na distribuição das plantas (Nishimura, 2017). Timberlake *et al.*, (2011) concluiu que o centro do rovuma é também notável pelo seu elevado número de endemias estritas, um reflexo das elevadas taxas de renovação de espécies entre manchas de floresta costeira seca dentro desta região fitogeográfica, com muitas espécies restritas a poucos ou mesmo únicos blocos florestais. Corroborando a hipótese de que espécies filogeneticamente próximas vivem em condições ambientais similares, apresentando similaridade de nicho (Brien *et al.* 2000; Whittaker *et al.* 2001).

A precisão dos resultados do mapa de distribuição da espécie *W. sessilicarpa* gerados pelo MaxEnt corroboram com os resultados obtidos por Hernandez *et al.*, (2006) que concorda que a precisão dos modelos aumenta para espécies que ocupam pequenas áreas geográficas e têm tolerâncias ambientais limitadas. Estudos realizados por Grenouillet *et al.*, 2011 sugerem que modelos de distribuição de espécies mais generalistas tendem a ter um desempenho inferior comparado a modelos de espécies com alto grau de especialização. Massingue *et al.*, (2022) justificaram a necessidade de uma nova avaliação da conservação desta espécie porque destaca a importância do habitat costeiro para espécies de distribuição restrita no Centro e Norte de Moçambique (Centro de Endemismo do Rovuma). Esses resultados entram em concordância com os obtidos por Kaky & Gilbert (2019), que concluíram que os MDS podem ser usados para facilitar a determinação do risco de extinção de espécies durante a avaliação da Lista Vermelha da IUCN, prevendo e determinando a sua distribuição.

## 12.5. Avaliação do Desempenho Preditivo do Modelo

O desempenho preditivo do modelo é analisado pelo teste de *AUC* (Area Under the receiver Operating characteristic Curve), que mede a habilidade do modelo de discriminar entre a omissão de áreas com registros e a sobreprevisão de áreas não ocupadas (Elith, *et al.*, 2011). Os valores do teste *AUC* acima de 0,7 indicam bons modelos, e modelos com *AUC* superior a 0,9 podem ser considerados ótimos (Katia *et al.*, 2021). Para avaliar o desempenho preditivo do modelo para *Warneckea sessilicarpa* foi usado a área sob a curva *AUC* ou curva *ROC* (Área sob a Curva do Operador Receptor), onde construiu-se um gráfico através da sensibilidade que é a proporção de presenças que quantifica erros de omissão no eixo dos Y e a especificidade que é a proporção de ausências que quantifica erros de sobreprevisão no eixo do X, o modelo mostrou um ótimo desempenho com um valor do *AUC* de 0,983.

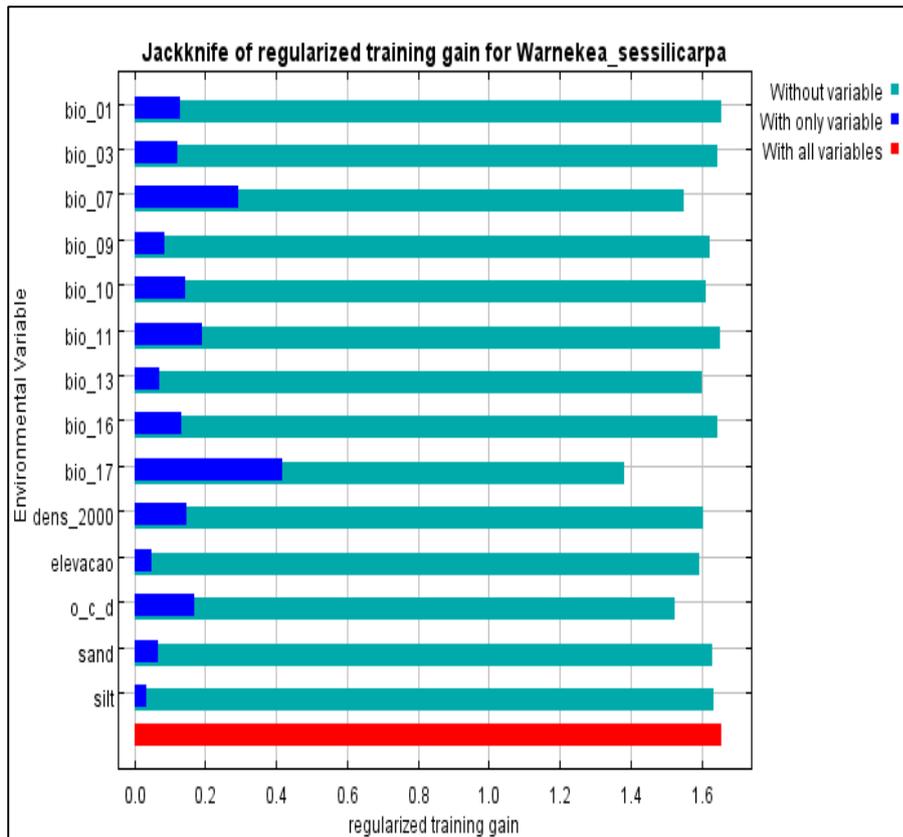


**Figura 13:** Curva ROC de sensibilidade versus especificidade

Para Lobo *et al.*, (2007) a área sob a curva característica de operação do receptor (ROC), conhecida como AUC, é atualmente considerada o método padrão para avaliar a precisão dos modelos de distribuição preditiva derivados de dados de espécies de presença e ausência. Esta definição entra em concordância com o conceito descrito por Cordeiro em 2018 nos seus estudo sobre Modelagem de Distribuição Potencial, Impactos Ambientais e Econômicos do Agupapé onde o AUC é considerado uma medida estatística que testa a concordância entre os registros de presença e a distribuição. Um valor de AUC de 0,5 indica que o desempenho do modelo é semelhante ao acaso, enquanto valores próximos de 1,0 indicam melhor desempenho do modelo (Young *et al.*, 2011). A curva ROC tem sido recomendada porque resume o desempenho do modelo em todas as condições em que um modelo pode operar, usando todas as informações fornecidas pelo modelo preditivo (Swets, 1988; Fielding & Bell, 1997; Brotons *et al.*, 2004). Esses resultados apoiam e justificam o excelente desempenho do valor do AUC obtido no presente estudo.

## **12.6. Importância das variáveis na distribuição potencial da espécie**

Phillips *et al.*, 2006 em seus estudos confirmou que o teste de JackKnife é realizado para avaliar a importância das camadas ambientais na explicação da distribuição da espécie. Esses resultados apoiam os estudos realizados por Pinaya em 2013 onde concluiu que o teste de Jackknife mede a importância das variáveis, estimado o ganho quando a variável é aplicada isolada e a perda quando é omitida. A figura 15 apresenta os resultados da avaliação do gráfico de ganho de treinamento regularizado de jackknife acerca da importância relativa das variáveis preditoras. A importância é quantificada em um percentual para o modelo: sem a variável preditora, em azul claro, com apenas a variável, com azul-escuro, e com todas as variáveis, vermelho. Pode-se observar em destaque as contribuições individuais das variáveis de precipitação do trimestre mais seco (bio\_17), Taxa de temperatura anual (bio\_07), Temperatura média do trimestre mais quente (bio\_10), Isotermalidade (Bio\_03) e Densidade de carbono orgânico (O\_C\_D) variável proveniente do *Soilgrids*. Isto pode indicar que além das condições da temperatura e precipitação, a distribuição potencial desta espécie é também influenciada pela propriedade derivada da densidade do carbono orgânico.



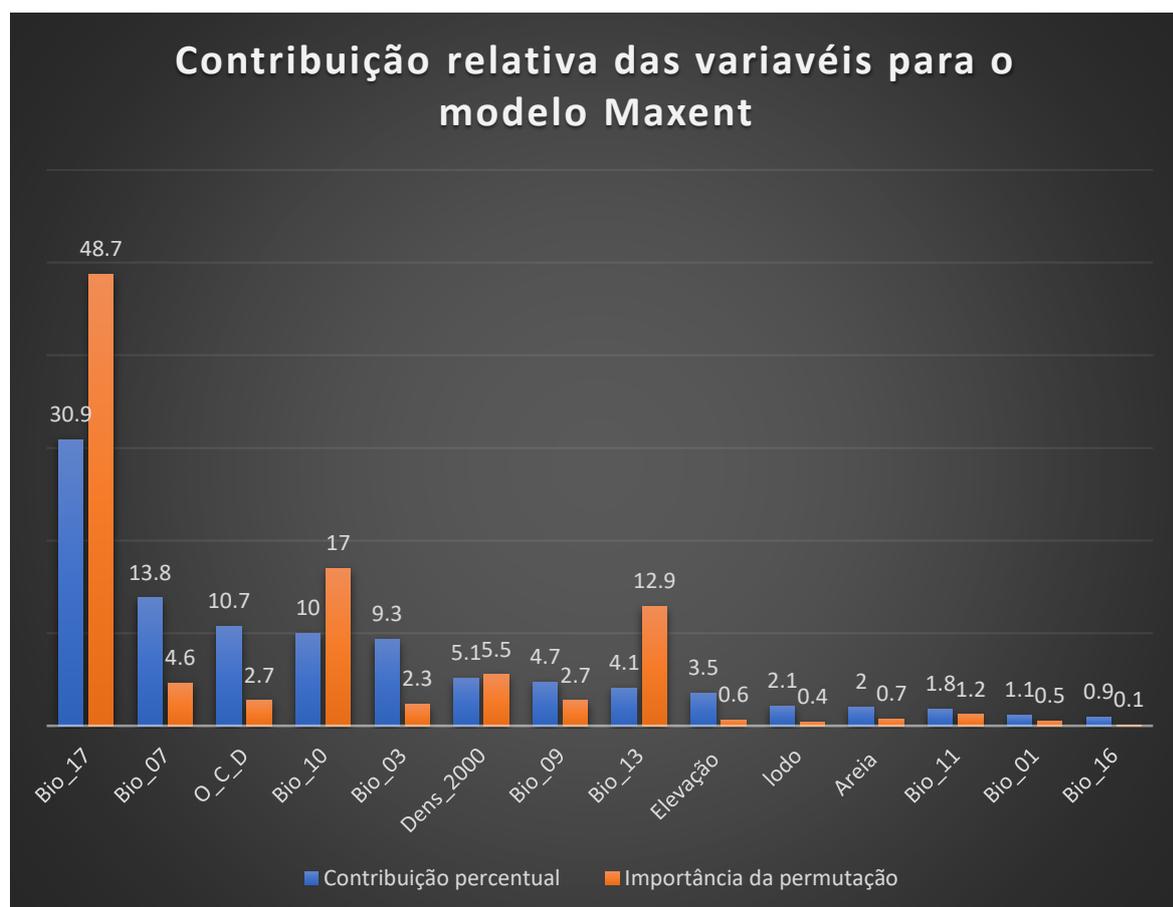
**Figura 14:** Gráfico de ganho de treinamento regularizado de jackknife da modelagem de distribuição potencial de *Warnekea sessilicarpa*

Os resultados do teste Jacknife permitiram inferir que entre as variáveis ambientais utilizadas, a precipitação do trimestre mais seco (Bio\_17) foi a variável com maior percentual de importância no modelo avaliado. Para Hijmans *et al.*, 2005 as variáveis climáticas, em escala regional, são os principais condicionantes ambientais que atuam na distribuição de espécies.

Para Hirzel e Perrin, (2014) No modelo MaxEnt, a presença de uma espécie indica que características ambientais têm permitido a manutenção dessa população, e a interação com outras espécies. A distribuição de uma espécie resulta da interação entre condições abióticas, condições bióticas, capacidade de dispersão e oportunidade para a dispersão e colonização (Perkins *et al.*, 2007). E Peterson, em (2006) concluiu que a precipitação influencia a dinâmica, reprodução e criação de espécies, seja ela relacionada à abundância, escassez ou períodos específicos do ano (Peterson, 2006).

## 12.7. Análise de contribuições das variáveis

Os valores mostrados são médias de execuções replicadas. Das 14 variáveis usadas para construção do modelo de distribuição potencial para *Warneckea sessilicarpa* a variável ambiental com maior ganho quando usada isoladamente é Bio\_17 (precipitação do trimestre, mas seco) com um contributo de 30.9%. Em segundo lugar segue a variável Bio\_07 (Taxa de temperatura anual) com uma importância de contributo de 13.8%. Em terceiro lugar segue a variável densidade de carbono orgânico (O\_C\_D) com uma importância de contributo de 10.7%. Em quarto lugar segue a variável Bio\_10 (Temperatura média do trimestre mais quente) com uma importância de contributo de 10%. E em quinto e último lugar segue a variável Bio\_03 (Isotermalidade) com uma importância de contributo de 9.3%. A variável ambiental que mais diminui o ganho quando é omitida é Bio\_17, que, portanto, parece ter mais informações que não estão presentes nas outras variáveis.



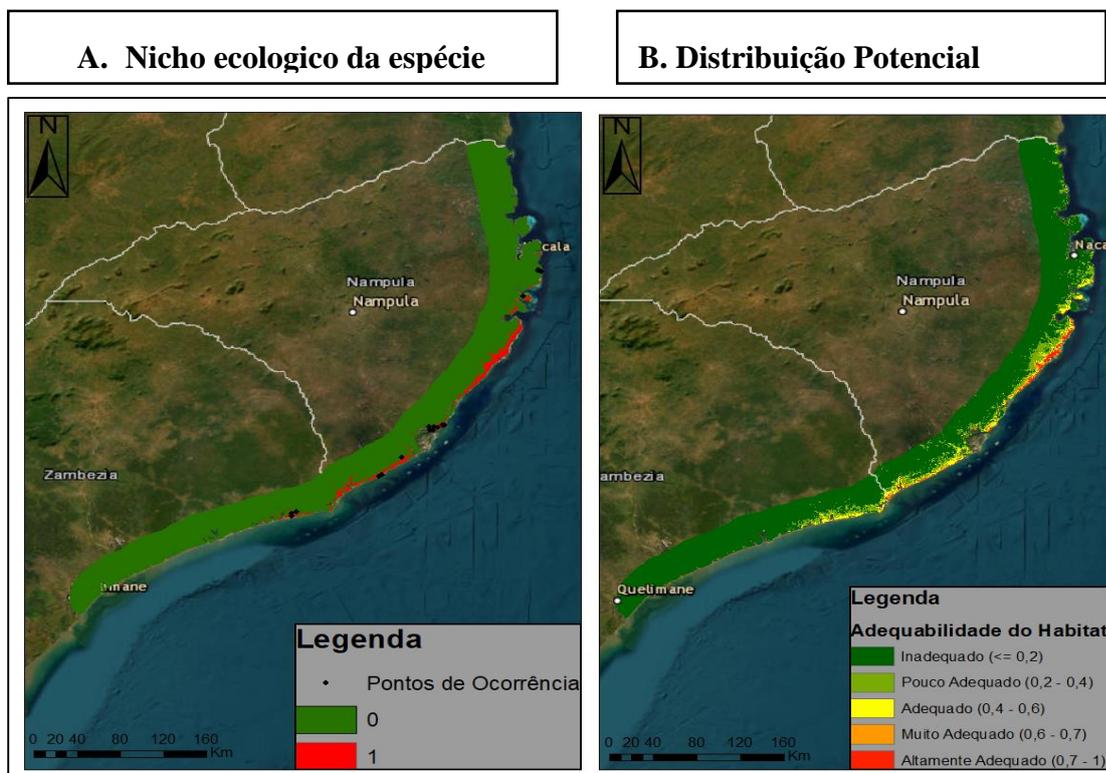
**Figura 15:** Contributo percentual relativo das variáveis ambientais na distribuição da espécie para o modelo Maxent.

Este resultado entra em concordância com os resultados obtidos por Kaky & Gilbert (2016) que confirmaram que um dos factores cruciais que controlam a distribuição das plantas é a temperatura e a precipitação. Estudos conduzidos por Omar e Elgamal, (2021) sobre o estado de conservação de duas espécies endêmicas com distribuição restrita no sul do Egito, concluíram que a precipitação do trimestre mais seco (Bio17) é o maior contribuinte para a distribuição das duas espécies endêmicas com distribuição restrita. Esses resultados sustentam os resultados obtidos no presente estudo onde igualmente a precipitação do trimestre mais seco (Bio17) foi variável ambiental com maior contribuição para a distribuição da *Warnackea sessilicarpa* que apresenta também uma distribuição restrita. Este resultado pode ser explicado pelas condições climáticas do país, Moçambique apresenta duas estações principais: uma estação seca mais fria, de Abril a Outubro e uma estação húmida mais quente de Outubro a Abril. A região mas a norte (províncias de Niassa, Cabo Delgado, Nampula e Zambézia) apresentam temperaturas mais elevadas, com temperaturas médias anuais de 25,5 °C na zona costeira caindo para 18 °C nas terras altas (Barbosa *et al.*, 2001). A distribuição da precipitação flutua amplamente em todo o país, seguindo um gradiente norte-sul com maior precipitação no norte e nas áreas montanhosas, onde a precipitação média anual pode atingir até 2000 mm (Uamusse *et al.*, 2017).

Para Gill, (2007) Determinar qual conjunto de parâmetros ambientais e ecológicos definem o habitat de uma espécie e sua qualidade é importante para identificar e proteger os remanescentes de habitats adequados e restaurar o habitat degradado para aumentar sua qualidade. Tanto a redução da área quanto a qualidade do habitat afetam o número de indivíduos de uma espécie que podem existir e se reproduzir com sucesso em uma área. Mesmo com base em dados de ocorrência de espécies muito limitados, esses modelos espaciais são capazes de prever a distribuição de uma espécie, identificando áreas de habitat adequado com parâmetros ambientais e ecológicos correspondentes (Franklin, 2013).

## 12.8. Mapa binário e da distribuição potencial

A figura com os mapas abaixo evidenciam no ponto A o mapa binário (Nicho ecológico da espécie) e no ponto B o mapa de (distribuição potencial). Calculou-se a área de distribuição, sendo obtidos valores binários de presença (1) e ausência (0). O mapa de distribuição potencial evidenciado no ponto B foi reclassificado no *ArcGis versão 10.8* com uma referência da classificação proposta por Yang *et al.*, (2013) em cinco classes potenciais: habitat inadequado (0 a 0,2); habitat pouco adequado (0,2 a 0,4); habitat adequado (0,4 a 0,6); habitat muito adequado (0,6 a 0,7); e habitat altamente adequado (0,7-1,0). Através da análise do mapa de adequabilidade de habitat no ponto B, pode-se verificar que a espécie apresenta ocorrências restritas à costa das províncias de Zambezia e Nampula. O mapa: B, prevê os seguintes locais potencialmente adequados para a espécie: As regiões que apresentaram alta probabilidade de ocorrência da *W. sessilicarpa* reveladas pelo mapa de distribuição foram as seguintes localidades: Matibane, Serra Mesa, Mongicual, Quinga, Mulimone, Mucoroge, Pilivili e M'Pago na província de Nampula, Moebase na Província de Zambézia e Memba na província de Cabo Delgado uma localidade antes registada a ocorrência da espécie.



**Figura 16:** A esquerda está o nicho ecológico da espécie estimado (mapa binário no ponto A) e a direita está a distribuição potencial no ponto B (Adequabilidade do Habitat).

Gatti, (2013) em seus estudos confirmou que para uma melhor exibição e análise posterior, modelos de distribuição de espécies têm sido utilizados para avaliar habitats potenciais em novas localidades. No presente estudo o nicho potencial de *Warneckea sessilicarpa* foi estimado em 1371,52 km<sup>2</sup>. Para Burrows *et al.*, (2018) as ocorrências da espécie em estudo estão distribuídas principalmente em matas, florestas secas, dunas costeiras, matagais costeiros e em solos arenosos ao nível do mar de 50 m de altitude. Mapeou-se neste estudo habitats da espécie arbórea *Warneckea sessilicarpa* no centro de endemismo rovuma nas províncias de Zambézia e Nampula com uma área de adequabilidade de cerca de 3% do limite da costa da área de estudo. A precisão da adequabilidade do habitat para distribuição potencial deve-se a características de raridade da *Warneckea sessilicarpa* esta compressão é sustentada por Hernandez *et al.*, (2006) que confirmou que a precisão dos modelos é maior para espécies com distribuição geográfica pequena e tolerância ambiental limitada, características ecológicas de muitas espécies raras.

O estudo confirmou que a espécie "*Warneckea sessilicarpa*" esta potencialmente espalhada em áreas restritas a costa das províncias de Zambézia e Nampula. Para Darbyshire *et al.*, (2019) esta distribuição potencial a costa é devido a respostas dos requisitos ambientais preferencial da espécie no habitat costeiro. Esta compressão entra em concordância com os estudos conduzidos por Timberlake *et al.*, (2011) concluiu que existe uma mudança acentuada na composição de espécies entre manchas florestais ao longo da costa, e contêm numerosas espécies com uma distribuição global restrita. Ocorrem em áreas sujeitas a uma estação seca prolongada (superior a 6 meses). Têm uma distribuição muito irregular e estão muitas vezes aparentemente restritos a solos específicos, como areias não consolidadas. Este resultado entra em concordância com os estudos realizados por Elith e seus colaboradores em (2006) que confirmaram que a distribuição geográfica de uma espécie é prevista através do mapeamento da área onde esses requisitos ambientais são cumpridos. As espécies raras têm padrões de distribuição espacial esparsos e/ou restritos (Rabinowitz *et al.*, 1986; Kattan 1992; Gaston 1997). O presente estudo concluiu que o factor raridade da espécie em estudo e a distribuição restrita contribuiu também para construção de um modelo de distribuição potencial excelente para a espécie. Para Manel *et al.*, 2001 Geralmente, os modelos para espécies com amplas áreas geográficas e tolerâncias ambientais tendem a ser menos precisos do que aqueles para espécies com áreas geográficas menores e tolerância ambiental limitada.

### 13. Conclusões

Este estudo confirmou que o uso de dados de ocorrência acurada e de maior abrangência constituiu uma abordagem efectiva para aumentar a precisão da avaliação de risco de extinção da espécie em estudo sob os critérios da Lista Vermelha da IUCN, o incremento de dados de ocorrência acurada para a espécie em estudo apresentou uma área de ocupação (AOO) e extensão de ocorrência (EOO) maiores, em comparação com área de ocupação (AOO) e extensão de ocorrência (EOO) calculados com dados provenientes da GBIF. Os novos dados propõem a categoria EN B2ab (i, ii,iii,iv e v) para o estado de conservação da *Warneckea sessilicarpa*. Esses resultados são apoiados pelos mapas de habitat adequado produzido pelo MaxEnt que reforçam a importância dos modelos preditivos no estudo da distribuição da espécie. Além da avaliação do estado de conservação e construção do modelo preditivo, constatou-se diferenças significativas na contribuição das variáveis ambientais para a espécie, a variável mais importante na distribuição da espécie em estudo foi a precipitação do trimestre mais seco (Bio\_17), com um contributo percentual de 30,9%. O índice de precipitação do trimestre mais seco foi importante para a espécie *W. sessilicarpa*, que apresentou um potencial de ocorrência em mais áreas do que as atualmente conhecidas. Os resultados apresentados são importantes para o conhecimento da ecologia e preservação da *Warneckea sessilicarpa* para o sucesso ao longo prazo, esses resultados evidenciam que modelos preditivos para espécie rara é uma abordagem efectiva para regiões onde estudos botânicos são escassos ou questões de conflito como é o caso de Cabo Delgado. A partir dos resultados desse estudo espera-se que programas de conservação, reflorestamento e reintrodução sejam consideradas para que medidas de mitigação possa ser aplicadas para conservação de outras espécies.

#### **14. Recomendações**

Um dos principais factores que influenciam negativamente na sobrevivência e ocorrência da *Warneckea sessilicarpa* no ambiente florestal é a degradação de seu habitat natural, medidas alternativas devem ser consideradas para garantir a sustentabilidade dessa espécie endêmica e rara na zona costeira de Moçambique. Entre as medidas de conservação, devem ser consideradas as seguintes medidas de mitigação:

- Conscientizar a população local da zona costeira das províncias de Zambézia e Nampula sobre a importância ecológica dessa espécie;
- Praticar a conservação in situ através da silvicultura em florestas naturais;
- Praticar também a conservação ex situ, que consiste na recolha das sementes e colocação no viveiro; após a germinação, as mudas podem ser reintroduzidas em seu ambiente natural;
- Reforçar o sistema de controlo e vigilância florestal em colaboração com a população local e o serviço florestal do Centro de Endemismo Rovuma.
- Restauração de habitats em declínio e processos naturais

#### **15. Limitações**

- Projecção do modelo para o futuro
- Número de ocorrências do GBIF limitadas, que impossibilitaram a construção do modelo preditivo para posterior comparação com os recentes registos de ocorrência colectados em campo.

## 16. Referências bibliográficas

- Anderson, R.P., and E. Martinez-Meyer (2004). *Modelling species geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (Heteromys) of Ecuador*. Biological Conservation, 116, 167-179.
- Austin, M.P. (2002). *Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modeling*. Ecol. Modell. 157: 101 / 118.
- Baigun, C.R.M., Colautti, H., López, H.L., Van Damme, P.A., and E.R. Reis (2012). *Application of extinction risk and conservation criteria for assessing fish species in the lower La Plata River basin, South America*. Journal for Nature Conservation. Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems aquatic.
- Barbosa, F.M.A., Cuambe, C.C., e S.O. Bandeira (2001). *Situação e distribuição dos mangais em Moçambique*. South African Journal of Botany 67(3): 393–398. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)31155-8](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)31155-8).
- Bauer, L. (2007). *Estimação de Coeficiente de Correlação de Spearman Ponderado*. Dissertação de Mestrado. 10pp. São Paulo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Bilal, A.T., Aijaz, H.G., Irshad, A.N., Aijaz, A.W., and A.R. Zafar (2014). *Assessment of threat status of selected endemic medicinal plants using IUCN regional guidelines: A case study from Kashmir Himalaya*. Journal for nature conservation. Department of Botany, India. University of Kashmir.
- Booth, G.D., Niccolucci, M.J., e Schuster, E.G. (1994). *Identificando conjuntos de proxy na regressão linear múltipla: uma ajuda para uma melhor interpretação dos coeficientes*. Estação de Pesquisa Intermontanhos, Serviço Florestal do USDA, Ogden, Utah, EUA.
- Borges, S.P.S. (2013). *Modelação Geoespacial da Distribuição de Espécies Ripícolas em Portugal e Respetiva Delimitação das Áreas Favoráveis à sua Reprodução*. Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica- Tecnologias e Aplicações. 97pp. Lisboa, Universidade de Lisboa.
- Brotons, L.W., Thuiller, M.B., and A.H. Hirzel (2004). *Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability*. Ecography 27: 437-448.
- Brien, E. M., Field, R. and R. J. Whittaker (2000). *Climatic gradients in woody plant (tree and shrub) diversity: water-energy dynamics, residual variation, and topography*. Oikos, 89(3): 588-600.

- Burrows J., S. Burrows, M. Lotter e E. Schmidt (2018) *Trees and Shrubs Mozambique*. Pp 258. Print Matters. Cape Town.
- Butchart, S., Walpole, M., Collen, B., Van Strien, A., Scharlemann, J., Almond, R., Baillie, J., Bertzky, B., Brown, C., Bruno, J. , Carpenter, K., Carr, G., Chanson, J., Chenery, A., Csirke, J., Davidson, N., Dentener, F., Foster, M., Galli, A. e R. Watson (2010). *Biodiversidade global: indicadores de declínios recentes*. *Ciência* 328: 1164 – 1168.
- Carapeto, A., Francisco, A., Pereira, P., e M. Porto (2020). *Lista Vermelha da Flora Vascular de Portugal Continental*. Volume.7 Sociedade Portuguesa de Botânica, Associação Portuguesa de Ciência da Vegetação – PHYTOS e Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (coord.). 374pp. Lisboa, Colecção «Botânica em Português».
- Carvalho, A., (2011). *A teoria neutra da biodiversidade explica o padrão de abundância relativa dos invertebrados sésseis no costão rochoso?* *Ecologia da mata atlântica*. Curso de Pós-Graduação em Ecologia. 1pp. São Paulo, Universidade de São Paulo.
- Centro de Pesquisa e Consultoria. (2014). *Monte Mabu: Avaliação da Biodiversidade e seu Potencial para a Criação de Área de Conservação*. Direcção Provincial do Turismo da Zambézia. 83pp. Cidade da Beira – Moçambique.
- Clarke, G.P. (2000): *Defining the eastern African Coastal Forests*; In: Burgess, N.D. *Coastal Forests of Eastern Africa*.
- Collen, B., Dulvy, N.K., Gaston, K.J., Gärdenfors, U., Keith, D.A., Punt, A.E., Regan, H.M., Böhm, M., Hedges, S., Seddon, M., Butchart, S.H.M., Hilton-Taylor, C., Hoffmann, M., Bachman, S.P., and H.R. Akçakaya (2016). *Clarifying misconceptions of extinction risk assessment with the IUCN Red List*. *Biology Letters*. 12:20150843.
- Cordeiro, P.F. (2018). *Modelagem de Distribuição Potencial, Impactos Ambientais e Econômicos do Aguapé (Eichhornia crassipes)*. Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais. 2pp. Belo Horizonte. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Corovelo, R.A.F. (2010). *Estatuto de Conservação das Plantas Vasculares Endémicas dos Açores Segundo os Critérios da IUCN: Implicações ao nível do ordenamento do Território e do Planeamento Ambiental*. Mestrado em ordenamento do Território e do

Planeamento Ambiental. 62pp. Portugal, Departamento de Biologia. Universidade dos Açores.

- Curso de Inverno em Ecologia da UFSC, (2013). *Resumos*. Programa de Pós-graduação Em Ecologia. 6pp. Florianópolis, Santa Catarina. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Darbyshire, I., Timberlake, J., Osborne, J., Rokni, S., Matimele, H., Langa, C., Datizua, C., de Sousa, C., Alves, T., Massingue, A., Hadj-Hammou, J., Dhanda, S., Shah, T., e B. Wursten (2019). *Plantas endémicas de Moçambique: diversidade e estado de conservação*. PhytoKeys. 136: 45– 96. <https://doi.org/10.3897/>.
- Dalapicolla, J. (2016). *Tutorial de modelos de distribuição de espécie: guia teórico*. Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia. Universidade Federal do Espírito Santo [<http://blog.ufes.br/lamab/tutoriais>] Consultado a 12 de Agosto de 2023.
- Douglas, J., Bianchi, V., e J.M. Fachinetto (2020). *Modelagem de distribuição da espécie Sitobion avenae (fabricius) para o continente europeu: sua região de origem. Inteligência artificial a nova fronteira da ciência Brasileira*. Evento: XXV Jornada de Pesquisa ODS: 15 - Vida terrestre. Brasil.
- Elith, J., C., Graham, and the NCEAS Species Distribution Modelling Group. (2006). *Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data*. *Ecography*, 29, 129 – 151.
- Elith J., M. Kearney e S. Phillips (2010) The art of modelling range-shifting species. *Methods Ecol Evol* 1:330 – 342.
- Fey, P., Y. Letourneur, and S. Bonnabel (2021). *The  $\alpha$ -minimum convex polygon as a relevant tool for isotopic niche statistics*. *Ecological Indicators*, 130, 108048.
- GBIF - Global Biodiversity Information Facility. Disponível em: [gbif.org](http://gbif.org). Acesso em: 14 de dezembro de 2023.
- Golding, J., S.O. Bandeira, M.G. Bingham, P. Crave, E. Da Costa, G.M. Dlamini, Dombo, T.S. A., Hargreaves, B., Izidine, S., Loots, S., Mapaura, A., Mlangeni, E., Msekandiana, G., Neto, G., Setshogo, M.P., and P.P Smith (2002). *Southern African Plant Red Data Lists*. Southern African botanical diversity network report no.14pp. Southern African.
- Goulart, M.N.S (2014). *Padrões de Raridade das Plantas Vasculares Indígenas dos Açores: Implicações para a Conservação e Gestão*. Departamento de Ciências Agrárias. Açores, Universidade dos Açores.

- Graham, C.H., and R.J. Hijmans (2006). A comparison of methods for mapping species ranges and species richness. *Global Ecology & Biogeography*, 15: 578-587.
- Grenouillet, G., L. Buisson, N. Casajus, and S. Lek (2011). *Ensemble modelling of species distribution: the effects of geographical and environmental ranges*. *Ecography*. 34pp. : 9 – 17.
- Guisan, A., and W. Thuiller (2005). *Predicting species distribution: offering more than simple habitat models*. *Ecology letters*, 8 (9): 993-1009.
- Guisan, A., and N.E. Zimmermann (2000). *Predictive habitat distribution models in ecology*. *Ecological modelling*, 135 (2-3): 147-186.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones, and A. Jarvis (2005). *Very high Resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.
- Hirzel, A.H., and N. Perrin (2014). *Ecological-Niche Factor Analysis : How to Compute Habitat-Suitability Maps without Absence Data* ?[https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2027:ENFAHT\]](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2027:ENFAHT]).
- Hortal, J., P.A.V. Borges, F. Dinis, A. Jiménez-Valverde, R.M., Chefaoui, J.M., Lobo, S., Jarroca, E., Brito de Azevedo, C., Rodrigues, J., Madruga, J., Pinheiro, R., Gabriel, F., Cota Rodrigues, and A.R. Pereira (2005). *Using ATLANTIS – Tierra 2.0 and GIS environmental information to predict the spatial distribution and habitat suitability of endemic species in: Borges, P.A.V., R., Cunha, R., Gabriel, A.F., Martins, L., Silva, and V. Viera (eds) A list of the terrestrial fauna (Mollusca and Artropoda) and flora (Bryophyta, Pteridophyta and Spermatophyta) from the Azores*. Direcção Regional do Ambiente and Universidade de Açores, Horta, Angra do Heroísmo and Ponta Delgada. 66-113pp.
- IUCN. (2001b). *Red List Categories and Criteria: Version 3.1. IUCN Species Survival Commission*. 30pp, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- IUCN. (2017). *Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 13*. Prepared by the Standards and Petitions Subcommittee. [<http://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf>].
- IUCN. (2019). *Guidelines for using the IUCN red list categories and criteria*. Version 13. Prepared by the Standards and Petitions Subcommittee. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 11 Abril de 2022.

- IUCN. (2021). *Avaliação do Estado, Tendências e Ameaças à Biodiversidade em Moçambique*. BIODDEV2030. Maputo. 19pp.
- IUCN, Standards and Petitions Committee. (2022). *Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria*. Version 15.1. Prepared by the Standards and Petitions [https://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf] 2022). Accessed on 07 June 2023.
- Izidine, S., and, S. Bandeira (2002). *Mozambique*. In: J.S. Golding (ed.), *Southern African Plant Red Data Lists*, 43-60pp. Southern African Botanical Diversity Network Report. Pretoria.
- Hutchinson, G.E. (1957). *Concluding remarks*. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. 22: 415-427.
- Kaky, E., and F. Gilbert (2016). *Using species distribution models to assess the importance of Egypt's protected areas for the conservation of medicinal plants*. J. Arid Environm. 135: 140 – 146.
- Keith, D.A., H.R., Akçakaya, and N.J. Murray (2018). *Scaling range sizes to threats for robust predictions of risks to biodiversity*. Conservation Biology, 32 (2): 322-332.
- Kamino, L.H.Y. (2009). *Modelos de Distribuição Geográfica Potencial: Aplicação com Espécies de Flora Ameaçada de Extinção da Floresta Atlântica*. Tese (Doutorado) Instituto Ciências Biológicas, Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Lehman, A., N., Rourke, L., Hatcher, and E. Stepanski (2013). *JMP for Basic Univariate and Multivariate Statistics: Methods for Researchers and Social Scientists*, Second Edition. [S.l.]: SAS Institute. ISBN9781612906034.
- Liu, C., P.M., Berry, T.P., Dawson, and R.G. Pearson (2005). *Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions*. / Ecography 28: 385 / 393.
- Lötter, M., J., Burrows, W., McClelland, M., Stalmans, E., Schmidt, M., Soares, H., Grantham, K., Jones, E., Duarte, H. Matimele, and H.M. Costa (2021). *Historical vegetation map and red list of ecosystems assessment for Mozambique – Version 1.0 – Final report*. 371pp. Maputo, USAID / SPEED+.
- Louro, C.M.M. (2005). *Perfis Ecológicos de Espécies e Ecossistemas Costeiros de Moçambique: Dunas Costeiras*. Relatório de Investigação Nº 3: 28pp. Maputo.
- Ministério da Administração Estatal. (2005). *Perfil do Distrito de Moma*. 2pp. Nampula.

- Macave, A.O. (2019). *Mapeamento da Biomassa Lenhosa das Florestas de Miombo na Reserva Nacional do Niassa*. Mestrado em Maneio e Conservação da Biodiversidade. 101pp. Maputo. Universidade Eduardo Mondlane.
- Mace, G.M., N.J., Collar, K.J., Gaston, C.H., Taylor, H.R.A., Akaya, N.L., Williams, E.J.M., Gulland, and, S.N. Stuart (2008). *Quantification of Extinction Risk: IUCN's System for Classifying Threatened Species*. Volume 22, No. 6, Conservation Biology.
- Mapaura, A. (2002). *Espécie de planta endêmica do Zimbábue*. *Kirkia* 18: 117–148. <https://www.jstor.org/stable/23502383> [acessado em 26.06.2023].
- Massingue, A., C. Datizua, and C. Afonso (em preparação). *Population Ecology Assessment Of Two Coastal Endemic Plants: The Critically Endangered Warneckea Sessilicarpa And Endangered Icuria Dunensis In Northern Mozambique*. 6pp. Preliminary Fieldwork Report.
- Maxwell, S., R. Fuller, T. Brooks, e J. Watson (2016). *Biodiversidade: a devastação causada por armas, redes e tratores*. *Natureza* 536: 143 – 145.
- Miller, R.M., J.P. Rodriguez, T.A. Fowler, B.C. Deniya, R. Boles, M.A. Eaton, U.L.F. Gardenfors, K. Molur., S. Walker, and C. Pollock (2006). *National Threatened Species Listing Based on IUCN Criteria and Regional Guidelines: Current Status and Future Perspectives*. Volume 21, No. 3 Conservation Biology.
- Nishimura, R.Y.G. (2017). *O papel de variáveis ambientais na distribuição e diversificação de espécies arbustivo-arbóreas do Cerrado e floresta*. Dissertação de Mestrado. 28pp. Campinas. Instituto de Biologia. Universidade Estadual de Campinas.
- Nóbrega, C.C., and P. De Marco Junior (2011). *Unprotecting the rare species: a niche-based gap analysis for odonates in a core Cerrado area*. *Diversity and Distributions*, 17(3):491-505. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00749>.
- Odorico, D., E. Nicosia, C. Datizua, C.R.S. Raiva, A. Banze, B. Caetano, V. Nhauando, H. Ragú, M.J. Machunguene, L. Caminho, E. Mutemba, J. Matusse, B., Osborne, J. Wursten, S. Burrows, L. Malatesta, and F. Attorre (2022). *An updated checklist of Mozambique's vascular plants*. *PhytoKeys*, 189: 61.
- Omar, K. (2012). *Análise de vegetação, solo e pastagem no Protetorado de Santa Catarina, Sinai do Sul, Egito*. *NeBIO* 3 (3): 80 – 92.
- Omar, K., e I. Elgamal (2021). *Lista Vermelha da IUCN e Modelos de Distribuição de Espécies Como ferramentas para a conservação de espécies pouco conhecidas: um*

*estudo de caso de plantas endêmicas Micromeria serbaliana e Veronica kaiseri no Sul do Sinai, Egito. Boletim Kew 76:477–496.*

- Paglia, P.A., T.D. Rezende, I. Koch, R.A. Kortz, e C., Donattis (2012). *Modelos de Distribuição de Espécies em Estratégias para a Conservação da Biodiversidade e para Adaptação Baseada em Ecossistemas Frente a Mudanças Climáticas*. Natureza & Conservação. Brasil.
- Palácio, R.D., P.J. Negret, J. Velásquez-Tibatá, and A.P. Jacobson (2021). *A data-driven geospatial workflow to map species distributions for conservation assessments*. Diversity and Distributions, 27 (12): 2559-2570.
- Pearson. R.G., and T.P Dawson (2003). *Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? Global Ecology & Biogeography*, 12,361–371.
- Perkins, S.L. (2007). *Locating Pleistocene Refugia : Comparing Phylogeographic and Ecological Niche Model Predictions*. n.7.
- Peterson, A.T., and R.D. Holt (2003). *Niche differentiation in Mexican birds: using point occurrences to detect ecological innovation*. Ecol. Lett. 6, 774–782.
- Peterson, A.T. (2006). *Ecologic niche modeling and spatial patterns of disease transmission*. Emerging Infectious Diseases, v. 12, n. 12, p. 1822 – 1826, <https://doi.org/10.3201/eid1212.060373>.
- Phillips, S.J., N.R.P. Anderson, and E.R.E. Schapire (2006). *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. Ecological Modelling, v. 190, n. 3- 4, p. 231-259.
- Phillips, S.J., K., Richardson, R., Scachetti Pereira, R.E., J., Soberon, S. Williams, M.S. Wisz, and, N.E. Zimmermann (2006). *Novos métodos melhoram a previsão das distribuições das espécies a partir de dados de ocorrência*. Ecografia, 29, 129-151.
- Phillips, S.J. M. Dudík, J. Elith, C.H. Graham, A. Lehmann, J., Leathwick, and S. Ferrier (2009). *Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data*. Ecological Applications, 19 (1), 181-197.
- Pinaya, J.L.D. (2013). *Processo de pré-análise para a modelagem de distribuição de espécies*. 85pp. Brasil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Posto de Recursos de Moçambique. (2014). *Indústria Mineira de Moçambique: A chinesa Haiyu relança as operações de areias pesadas no distrito de*

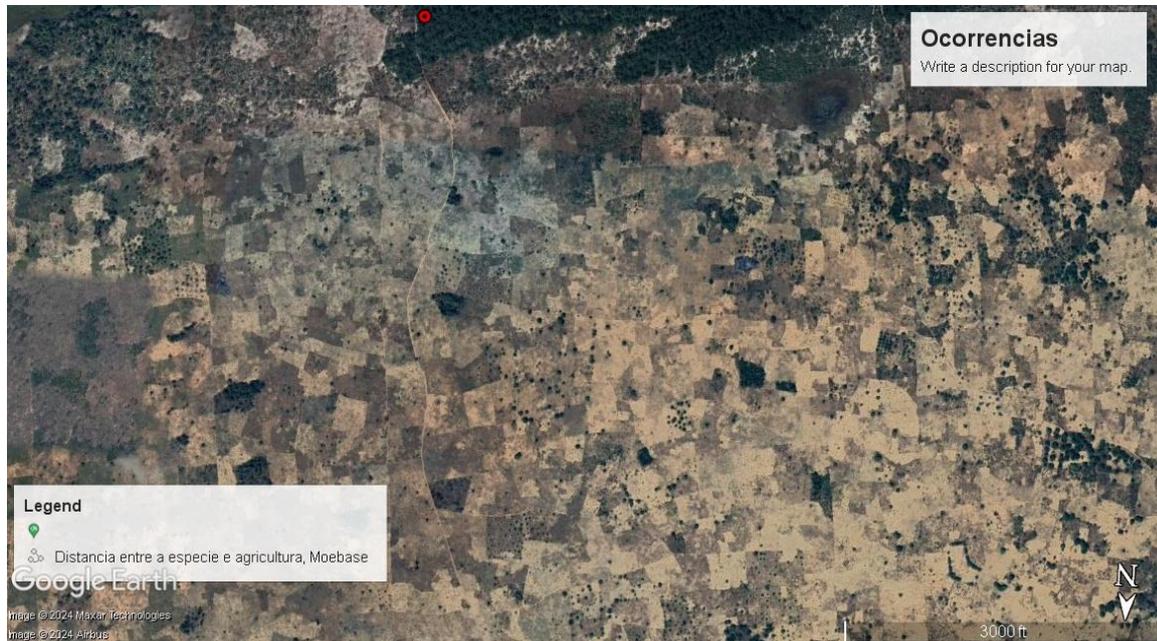
*Angoche, Nampula*. Disponível em: <https://mozambiqueiningpost.com/2014/07/16/mozambique-mining-industry-chinese-haiyu-relaunch-heavy-sands-operations-in-angoche-district-nampula/>.

- Qaiser, M., e A.L. Haidar (2010). *Contribuição para a Lista Vermelha do Paquistão: um estudo de caso da estreita endêmica Silene longisepala (Caryophyllaceae)*. Universidade Federal Urdu para Artes, Ciência e Tecnologia, Islamabad, Paquistão. 6 pp. Paquistão.
- RBG, Kew (2019). *Warneckea sessilicarpa*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-3.
- Reddy, M., H. Begum, N. Sunil, S. Pandravada, and N. Sivaraj (2015). *Assessing climate suitability for sustainable vegetable roselle (Hibiscus sabdariffa var. sabdariffa L.) cultivation in India using MaxEnt model*. Agricultural and Biological Sciences Journal, 1 (2): 62-70.
- Ricklefs, R.E., and D. Schluter (1993) *Species diversity in ecological communities: historical and geographical perspectives*. University of Chicago Press, Chicago and London.
- Royle, J.A., R.B. Chandler, C. Yackulic, and J.D. Nichols (2012). *Likelihood analysis of species occurrence probability from presence-only data for modelling species distributions*. Methods in Ecology and Evolution, 3, 545 – 554.
- Soberón, J., e A.T. Peterson (2005). *Interpretação de modelos de nichos ecológicos fundamentais e áreas de distribuição de espécies*. Informática sobre Biodiversidade 2:1-10.
- Sousa, C., e T. Alves (2007). *Avaliação Preliminar da Vegetação Costeira e dos Mangais Existente na Área Proposta para o estabelecimento de Áreas de Conservação no Arquipélago das Ilhas Primárias (1as) e Segundas (2as)*. IIAM– Instituto de Investigação Agrária de Moçambique. 90 pp. Moçambique.
- Stone, R.D. (2014) *O género paleotropical rico em espécies Memecylon (Melastomataceae): Molecular filogenética e classificação infragenérica revista das espécies africanas*. Taxon 63 (3): 539 561. <https://doi.org/10.12705/633.10>
- Teixeira, K.O. (2018). *Distribuição potencial das subespécies de Melipona quadrifasciata Lepeletier, no Brasil em relação às mudanças climáticas*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. São-Paulo. Universidade do Extremo Sul Catarinense,

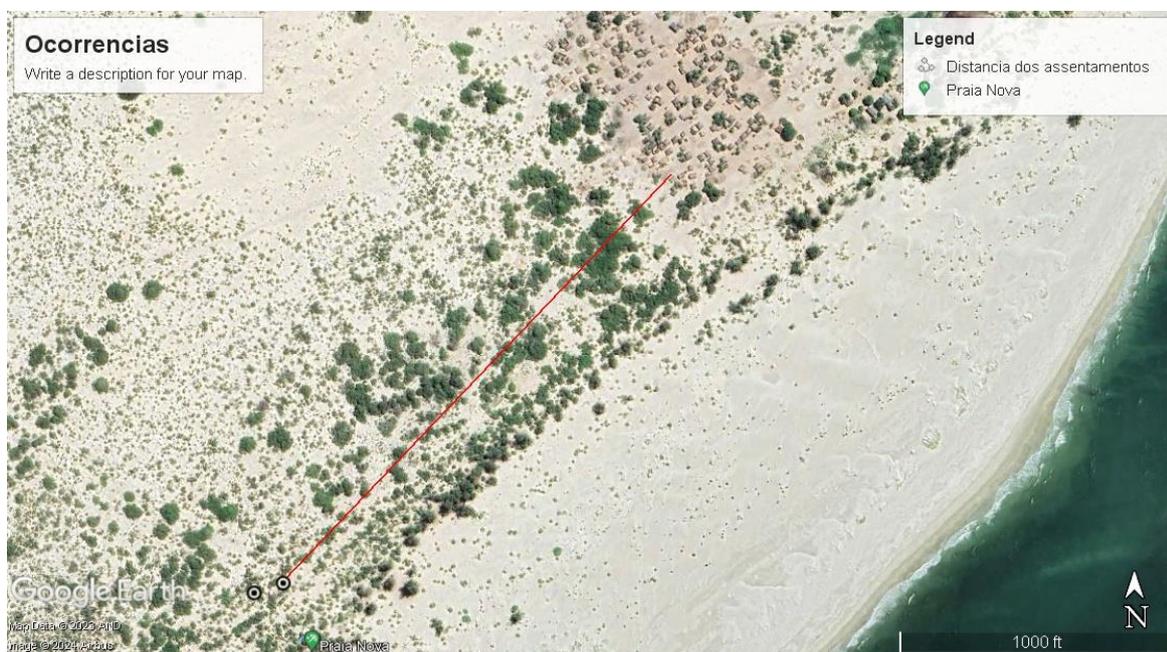
- Timberlake J, J.S. Golding and P. Smith (2006) *Uma análise preliminar de espécies endêmicas e ameaçadas*. Royal Botanic Gardens.
- Timberlake, J.R., D.J., Goyder F. Crawford, e O. Pascal (2010). *Florestas costeiras secas na Província de Cabo Delgado, norte de Moçambique – botânica e vegetação*. Relatório para "Nosso Planeta Avaliado" uma iniciativa conjunta da Pro Natura internacional e do Museu Francês de História Natural, 92pp. Royal Botanic Gardens, Kew, Londres.
- Timberlake, J., D. Goyder, F. Crawford, J. Burrows, G.P. Clarke, Q. Luke, H. Matimele, T. Müller, O. Pascal, C. Sousa, e T. Alves (2011). *Florestas secas costeiras no norte de Moçambique*. *Ecologia e Evolução Vegetal* 144 (2): 126-137. <https://doi.org/10.5091/plecevo.2011.539>.
- Timberlake J.R, and, E.S. Martins (2015) *Flora Zambesiaca* 8 (6). Royal Botanic Gardens, Kew, 1 – 314.
- Uamusse, M.M., M. Aljaradin, Nilsson, E., e K.M. Person (2017). *Observações de Mudanças Climáticas em Energia Hidrelétrica em Moçambique*. *Energy Procedia* 138: 592–597. <https://doi.org/10.1016/j.único.pro.165.10.2017>
- Walter, K.S., e H.J. Gillett (1997). *Lista Vermelha de Plantas Ameaçadas da IUCN*. Compilado pelo Centro Mundial de Monitoramento da Conservação. UICN – União Mundial para a Conservação, Gland, Suíça e Cambridge, Reino Unido. ixiv + pp.862.
- WCS, Governo de Moçambique e USAID. (2021). *Áreas-chave para a Biodiversidade (KBAs) identificadas em Moçambique: Fichas Técnicas, VOL.II. Lista Vermelha de espécies ameaçadas e ecossistemas, identificação e mapeamento de áreas-chave para a biodiversidade (KBAs) em Moçambique*. 70pp.USAID / SPEED+. Maputo.
- Whittaker, R.J., K.J. Willis and R. Field (2001). *Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity*. *Journal of Biogeography*, 28: 453-470
- Young, N., Carter, L., and P. A. Evangelista (2011). *Maxent Model v3.3.3 e Tutorial* (ArcGIS v10).

## 17. Anexo

Imagens obtidas no *site* do Google Earth, ilustrando em tempo real as principais e recentes ameaças que assolam a ocorrência da espécie.



**Figura 17.** Imagem evidenciado o impacto da agricultura na fragmentação do habitat da espécie



**Figura 18.** Assentamento humano com um impacto forte na fragmentação do habitat da espécie



**Figura 19.** Assentamento dos Pescadores com forte pressão na fragmentação do habitat da espécie



**Figura 20.** Assentamento com um impacto forte na fragmentação do habitat da espécie

**Tabela 7.** Registro total de ocorrências da espécie, obtidas no GBIF.

Espécie	Lat	Long	Elevação	GbifIDKey	Província	Data
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	-16.186667	40.02139	8.3	2.237E+09	Nampula	1965
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	-16.186667	40.02139	8.3	2.237E+09	Nampula	1965
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	-16.186667	40.02139	8.3	2.237E+09	Nampula	1965
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	-16.186667	40.02139	8.3	2.237E+09	Nampula	1965
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	-16.235016	39.95506	7.2	2.237E+09	Nampula	1965
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	-16.186667	40.02139	8.3	2.237E+09	Nampula	1965
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	-16.200034	39.93392	47.3	2.237E+09	Nampula	1968

**Tabela 8.** Registro total de ocorrências da espécie, obtidas em campo

<i>Espécie</i>	Long	Lat	Altitude	Time
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.3843	-15.683	74.3754	2022-04-01T05:38:27Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.3851	-15.682	38.192	2022-04-01T08:20:01Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.3932	-15.67	28.0493	2022-04-01T09:50:50Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.4038	-15.653	24.7263	2022-04-01T11:45:05Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.4059	-15.647	27.9184	2022-04-01T12:29:35Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.4077	-15.646	18.2466	2022-04-02T08:42:12Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.4085	-15.646	14.0759	2022-04-02T08:58:44Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.4224	-15.628	13.259	2022-04-02T11:53:26Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.3294	-15.762	50.4826	2022-04-05T08:13:23Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.4902	-15.503	250.233	2022-04-06T07:44:36Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.2368	-15.848	289.369	2022-04-06T08:27:20Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.238	-15.848	-10.112	2022-03-22T04:38:50Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.98	-16.225	-1.272	2022-03-22T06:13:28Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.9709	-16.233	0.21164	2022-03-22T06:14:03Z

<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.9706	-16.233	0.71324	2022-03-22T06:15:04Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.4281	-16.703	16.3001	2022-03-22T06:51:54Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.2915	-16.755	22.2084	2022-03-22T10:47:17Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.2913	-16.754	22.2165	2022-03-22T10:55:57Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.2917	-16.753	7.80458	2022-03-23T06:48:36Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.1522	-16.874	8.0091	2022-03-23T06:48:45Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.1574	-16.869	10.6726	2022-03-23T06:58:17Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.1597	-16.866	0.40837	2022-03-25T07:05:36Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.1608	-16.864	0.96961	2022-03-25T07:08:27Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.1605	-16.864	7.74785	2022-03-25T07:27:46Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	38.7525	-17.062	9.06747	2022-03-25T07:34:19Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.8101	-14.704	11.9597	2022-03-25T07:40:27Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.6533	-14.749	12.4108	2022-03-25T08:17:18Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	38.7609	-17.03	11.6336	2022-03-25T08:19:20Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	38.7524	-17.062	13.3236	2022-03-25T09:54:00Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.153	-16.874	15.0214	2022-03-25T10:02:11Z

<i>Warneckea sessilicarpa</i>	39.6707	-16.501	13.6572	2022-03-26T08:07:55Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.2374	-15.849	11.8785	2022-03-26T08:30:55Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.5033	-15.504	10.8565	2022-03-28T07:43:33Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.4032	-15.653	21.3252	2022-03-28T09:26:47Z
<i>Warneckea sessilicarpa</i>	40.3932	-15.67	34.9409	2022-03-29T08:03:37Z