

MODELAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL POTENCIAL DO ELEFANTE AFRICANO (*LOXODONTA AFRICANA*, BLUMENBACH) NA RESERVA ESPECIAL DE MAPUTO, MOÇAMBIQUE

NETO, Dora¹; BARREIROS, João²; NTUMI, Cornelio³; TEIXEIRA, Patrícia¹, MATOS, João¹

RESUMO

Nesta comunicação apresenta-se uma abordagem ao problema da modelação da distribuição espacial de espécies selvagens, aplicada ao caso específico do elefante africano. O objectivo é obter empiricamente um mapa da distribuição potencial do Elefante africano na Reserva Especial de Maputo (REM); integrando para esse fim métodos estatísticos e modelação geográfica. A referida distribuição é analisada tendo em conta as duas estações tipicamente influentes nos padrões comportamentais dos elefantes na REM (i. é. Inverno Vs. Verão). A avaliação dos modelos foi feita recorrendo à área sob as curvas ROC. Visto que o grau de incerteza associado à sua produção é múltiplo, e que a capacidade de calibração dos mesmos não se revelou melhor que a hipótese nula (ou seja, não haverá diferença entre os valores observados e os estimados pelo modelo). Verifica-se que, ambos os modelos classificam adequadamente os locais (habitats) que devem ser prioritários do ponto de vista da gestão e conservação, tendo como base de arbitragem o valor sob a curva ROC, indicativo da fiabilidade dos valores probabilísticos obtidos. Para ambos os modelos esses valores consideram-se "excelentes": 0.863 (IC95%: 0.822 - 0.904) e 0.830 (IC95%: 0.781 - 0.878), respectivamente para o modelo de Verão e Inverno.

PALAVRAS CHAVE: Modelos predictivos, modelos lineares generalizados (regressão logística), mapas de distribuição de espécies, gestão e conservação do elefante africano.

INTRODUÇÃO

O presente artigo centra-se no desenvolvimento de uma abordagem ao problema da modelação da distribuição espacial de espécies selvagens, aplicada ao caso específico do elefante africano (*Loxodonta africana* (Blumenbach)), e recorrendo a uma metodologia assente num método

estatístico (i. é., num modelo linear generalizado - MLG, em particular na regressão logística - RL), em conjugação com operações de análise espacial.

Actualmente, o elefante africano encontra-se distribuído abaixo do deserto Sahara, cujas populações se encontram dispersas e fragmentadas (Said *et al.*, 1995) em áreas onde a paisagem é dominada pelo homem. Consequentemente, a gestão desta espécie no cenário actual representa um problema e um desafio (Osborn & Parker, 2003), uma vez que se trata de um fenómeno de sobreposição espacial e temporal (Hoare & Dutoit, 2001) relativa à distribuição e utilização dos recursos procurados e partilhados por ambas as espécies.

A existência de áreas protegidas pode compensar o referido problema. No entanto, como no caso de estudo da Reserva Especial de Maputo (REM), a existência de populações humanas nativas (que retornaram depois da Guerra Civil) dentro e em torno da Reserva potenciam situações de confrontos com os elefantes (de Boer & Baquete, 1998). Ainda em consequência da caça furtiva, a qual aumentou especialmente no período de guerra, a população de elefantes na REM tem vindo estimativamente a decrescer entre 3.4 a 7.4% por ano (de Boer *et al.*, 2000).

Uma vez que dentro destas áreas de conflito a gestão e conservação das espécies é muito dependente da manutenção dos habitats existentes (Wessels *et al.*, 2003), e onde maximizar a biodiversidade é fundamental, há que minimizar a perda de habitats enquanto se estabelece uma rede de conservação (Cowling *et al.*, 1999).

A análise de uma situação com estas características beneficia naturalmente de uma abordagem espacial, que contemple a avaliação da distribuição espacial da espécie em causa, intimamente influenciada por vários factores ecológicos (e.g. (Begon *et al.*, 1996; Krebs, 1994).

Neste sentido, considerando que existe pouca informação relativa à ecologia do elefante na REM (de Boer *et al.*, 2000), e dada a relação entre disponibilidade de habitat e potencial de exploração pelas espécies selvagens, faz sentido capturar ambas as realidades no mesmo modelo (Bulte & Horan, 2003).

Recentemente, os modelos predictivos de habitat/distribuição espacial de espécies obtidos por combinação de análises estatísticas multivariadas com tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), têm sido reconhecidos pela sua utilidade no âmbito da gestão e conservação, e pelo seu uso por parte dos gestores do território a nível de planeamento territorial (Gibson *et al.*, 2004; Meggs *et al.*, 2004). Tais modelos podem ser usados para prever a distribuição das espécies e dos seus habitats, e são tipicamente baseados em várias hipóteses de como os factores ambientais controlam a distribuição de espécies e comunidades (Guisan & Zimmermann, 2000).

Tendo em conta os factores ecológicos documentados na literatura e o conhecimento pericial acerca do elefante africano, pretende-se modelar e identificar potenciais áreas de interesse relevante para a gestão e conservação da espécie na REM, para ambas as estações do ano existentes.

Para tal, recorre-se ao uso da regressão logística, dos modelos estatísticos que tem vindo a ser mais utilizado neste contexto (Guisan & Zimmermann, 2000), e à sua avaliação através das curvas ROC (“Receiver Operating Characteristic”), a qual é referida como uma medida de discriminação do modelo (Pearce & Ferrier, 2000), para que este seja usado com fiabilidade.

METODOLOGIA

Área de estudo

A Reserva Especial de Maputo (REM) situa-se na zona Sul de Moçambique (26°25’S, 32°45’E) entre o rio Maputo e o Oceano Índico, no Distrito de Matutuíne, Província de Maputo (Figura 1 e Figura 2).

A Reserva foi inicialmente estabelecida em 23 de Abril de 1932, com o objectivo principal de proteger a população de elefantes lá existente. Em 1960 os limites da reserva foram alterados pelo Diploma Legislativo nº1994 de 23 de Junho, reduzindo drasticamente a área original. Depois dos limites redefinidos a REM passou a abranger uma área de aproximadamente 800 Km² (Rósinha, 1973).

Esta área protegida é considerada um dos três “hotspots” (especificamente, o Centro de Endemismo de Maputaland) que foram identificados em Moçambique pela WWF/IUCN como sendo extremamente importantes do ponto de vista biológico.(Ministry for the Coordination of Environmental Affairs, 1997).

A região tem uma orografia suave, com o ponto mais alto a cerca de 104m (Rósinha, 1973).

O clima é caracterizado por uma estação quente e chuvosa (de Outubro a Março, com temperaturas a variar entre os 26° e 30° C) e por uma estação fria e seca (de Abril a Setembro, com temperaturas a variar entre os 14° e os 26°C). A pluviosidade média anual situa-se entre os 690-1000 mm (Tello, 1973; de Boer & Ntumi, 2001).



Figura 1 - Enquadramento geográfico da Reserva Especial de Maputo(REM), sul de Maputo.



Figura 2 - Mapa da Reserva Especial de Maputo, onde se observa o limite administrativo, os recursos hídricos e a localização das aldeias.

O maior recurso hídrico é o Rio Maputo. O Rio Futi é mais pequeno e termina nas planícies no norte (de Boer & Baquete, 1998). Encontram-se também nesta reserva várias lagoas de água doce e água salgada (Ntumi *et al.*, 2005), tais como a Lagoa Piti, Lagoa Maunde, e a Lagoa Xinguti (de Boer & Baquete, 1998).

Ntumi *et al.* (2005) definiram nove tipos de habitats a fim de determinar o uso do espaço pelo elefante na REM: a) Pastagens, b) Floresta, c) Prados, d) Floresta aberta, e) Vegetação do Rio Futi, f) Pântanos, g) Mangal, h) Planície de inundação do Rio Maputo, i) outras, tais como Floresta de areia, Plantações de Eucalipto e Canaviais Ripícolas.

Do ponto de vista faunístico a REM é particularmente rica em espécies avícolas selvagens (337 species; Tello, 1973). Uma vez que a reserva não se encontra vedada, tanto os animais como as pessoas podem entrar e sair livremente da área protegida.

A população humana concentra-se no lado oeste da reserva, entre Bela Vista e Salamanga sendo na sua maioria agricultores, todavia, também se dedicam à pesca em pequena escala nas lagoas e rios. Para além disso ainda colectam frutos selvagens e raízes, e caçam animais selvagens (Tello, 1973).

Alguns dos habitats, considerados cruciais para determinadas espécies de fauna e flora, têm vindo a ser alterados, estimando-se que a população de elefantes tem vindo a decrescer na ordem dos 3.4 - 7.4%, muito em parte devido à caça furtiva e a outras actividades humanas (de Boer & Ntumi, 2001).

Desenvolvimento e avaliação do modelo

A presente metodologia engloba um conhecimento prévio da ecologia do elefante africano, a fim de se definirem as variáveis ambientais potencialmente importantes que influenciam a distribuição espacial da espécie.

Genericamente, podem ser identificadas 3 fases que descrevem a abordagem do presente estudo: i) Gestão e Organização da Informação, ii) Modelação e iii) Validação.

i) Preparação e Organização da Informação

Entende-se que, conforme sugerido por Latimer *et al.* (*in press*), muitos dos problemas que surgem na modelação ecológica surgem nas características da distribuição das espécies, e da informação disponível e utilizada para as descrever. Muitas vezes, as limitações prendem-se com a disponibilidade de informação geográfica adequada às características intimamente relacionadas com os atributos ambientais que afectam a distribuição das espécies (Wintle *et al.* 2005). De uma forma geral, os erros que podem ser propagados ao longo do processo de modelação e afectar os resultados desta têm origem em três problemas principais: problemas de amostragem, de dependência espacial/autocorrelação e de quantificação da incerteza inerente aos pressupostos ecológicos (Latimer *et al.*, *in press*).

Variáveis ambientais:

O elefante africano pode ser encontrado em vários tipos de habitat, uma vez que são animais generalistas que consomem uma grande variedade de forragens, desde herbáceas a cascas de árvore, bem como raízes e frutos (Cowling & Kerley, 2002).

Osborn (2004) e Osborn and Parker (2003) sugerem que a distribuição espacial dos elefantes é muito influenciada pela disponibilidade sazonal e qualidade do alimento, bem como pela disponibilidade de água superficial. A topografia do terreno e a diversidade e qualidade do solo são também factores sugeridos na literatura como sendo influentes na distribuição destes animais (Osborn, 2004).

Por outro lado, vários autores referem que os padrões de aglomerados humanos e a caça furtiva têm vindo a exercer um profundo impacto nos padrões de distribuição dos elefantes. De uma forma muito rápida, a expansão das populações humanas, associada a práticas agrícolas de subsistência, tendem a alterar os padrões paisagísticos de uma forma que constrange os habitats disponíveis para estes animais (Osborn, 2004).

De acordo com Tello (1973), no passado (antes de 1966) a distribuição espacial do elefante na REM contemplava todos os tipos de habitat existentes, com excepção dos mangues e da área compreendida entre o mar e a estrada Zitundo-Machangulo. No entanto, nessa altura, os elefantes mostravam particular preferência pelos habitats existentes a norte da reserva, caracterizados por áreas abertas com espécies herbáceas. Actualmente, estes animais são raramente encontrados nestes habitats (de Boer *et al.*, 2000).

Assim sendo, a combinação de factores naturais e antropogénicos parece ser determinante para a explicação da distribuição dos elefantes. Com base neste pressuposto, seleccionaram-se *a priori* (Rhodes *et al.*, 2006) algumas variáveis de forma dedutiva como potenciais variáveis independentes a entrar nos modelos predictivos (Verão e Inverno), as quais se passam a descrever:

Classes de vegetação

A categorização da vegetação tem como objectivo avaliar se a distribuição da espécie em causa é influenciada pelo tipo de vegetação.

A obtenção desta variável ecológica tornou-se possível recorrendo a cenas Landsat-7 ETM+ (coluna/linha: P166/R66-67), referenciada ao sistema de projecção Universe Transverse Mercator (UTM), WGS84, Zone 36S. Através de classificação assistida no software de classificação de imagem ENVI (ENVI Version 3.6, USA) geraram-se classes de vegetação (aplicando a classificação da máxima verosimilhança), as quais serviram de auxílio no delineamento final de um "layer" com 19 classes de vegetação em ArcGIS (ESRI, Versão 9.1).

Classes de distância à água

A quantificação da influência do grau de proximidade aos recursos hídricos disponíveis, tem como objectivo contabilizar a necessidade de acesso à água dos elefantes.

Os recursos hídricos foram também derivados da imagem de satélite. Posteriormente, o "layer" obtido foi convertido de vectorial para raster, e aplicando a função "Distância Euclideana" gerou-se um novo raster de distâncias, as quais foram reclassificadas em 3 classes. Estas foram determinadas por uma análise da distribuição quartílica da distância entre cada um dos pontos de presença (para cada estação do ano) à célula mais próxima que contem um valor associado a um dado recurso hídrico.

Classes de distância às estradas

A quantificação da influência das estradas como indicador do grau de perturbação humana, tem como objectivo contabilizar a intensidade desta na área de estudo.

O processo de obtenção de 3 classes de distância às estradas é semelhante ao anterior, sendo que a análise de reclassificação foi feita à célula mais próxima que contem um valor associado a uma dada estrada.

Classes de influência humana

A quantificação da influência humana de acordo com uma estimativa da distribuição humana na área de estudo pretende reflectir o potencial de distúrbio/risco no ambiente envolvente.

Tendo como base os pontos representativos de áreas habitadas, bem como os valores de população total associados àqueles e assumindo uma densidade populacional de 7 hab/Km² (cf. Chaposa *et al.*, 2001), usou-se uma função densidade, a qual considerou a população total para cada ponto como factor de ponderação. Foram definidas três classes de influência de forma semelhante às duas variáveis anteriores.

O tamanho da célula de todos os dados é de 30 X 30m (correspondente à resolução espacial da imagem de satélite).

Informação de localização:

Presenças

A informação de presença (variável dependente) foi obtida por seguimento por satélite, desde Fevereiro de 1998 a Agosto de 1999, conforme descrito em Ntumi *et al.* (2005). Do procedimento foram considerados para análise 774 pontos de localização geográfica, dos quais 366 foram obtidos durante a estação seca (de Maio a Outubro) e 408 foram obtidos na estação chuvosa (de Novembro a Abril).

Com o objectivo de reduzir a correlação espacial os pontos analisados correspondem a uma localização por elefante com três dias de intervalo (cf. Ntumi *et al.*, 2005), sendo que os pontos correspondem a cinco animais diferentes (quatro fêmeas jovens + 1 macho jovem, de grupos sociais diferentes).

Toda a informação de localização foi projectada para coordenadas UTM, WGS84/UTM36S.

(Pseudo)ausências:

Conforme o presente caso, acontece que frequentemente a informação de ausência não existe ou não está disponível (Elith e tal., 2006). Nestas circunstâncias é usual optar pelo uso de métodos indicados para informação do tipo (apenas) presença (Brotons *et al.*, 2004; Guisan & Zimmermann

et al., 2000). Alternativamente, alguns investigadores têm optado por gerar aleatoriamente ausências na área de estudo (Pearce & Boyce, 2006; Rushton *et al.*, 2004) assumindo-as como equivalentes a verdadeiras ausências (daí se designarem de pseudo-ausências), e podendo assim fazer uso dos métodos indicados para informação do tipo presença-ausência. Contudo, uma vez que as ausências não foram de facto detectadas *in situ* é possível que alguns locais de pseudo-ausências correspondam na realidade a localizações de presença (Pearce & Boyce, 2006; Graham *et al.* 2004), o que poderá enviesar os resultados predictivos.

Conforme referido, na falta de informação de ausência, optou-se por gerar aleatoriamente na área de estudo pseudo-ausências. Todavia, estas foram geradas fora do domínio vital calculado com todos os pontos de presença, e fora do “buffer” de 750m que resulta de uma estimativa empírica entre o erro de localização estimado e a média da distância percorrida por um indivíduo numa hora. Desta forma pretende-se reduzir os erros de omissão (Tipo II).

Tendo em conta que a área fora do buffer é aproximadamente o dobro da área dentro do mesmo, optou-se por gerar pontos de pseudo-ausência na proporção de 1:2, relativamente ao número de presenças em cada estação do ano.

Toda a informação relativa às localizações foi dividida da seguinte forma: 70% dos pontos foram usados na fase de calibração dos modelos, e 30% na fase de validação (cf. Fielding & Bell, 1997).

ii) Modelação

Seleccção de variáveis e ajuste dos modelos

Tipicamente, a informação do tipo apenas de presença tem vindo a ser usada sob várias abordagens. No entanto, não existe um critério claro para estabelecer escolhas entre eles, pelo que é necessário explorar tal área em termos analíticos, tanto a nível da estimação como avaliação dos mesmos. Veja-se Pearce e Boyce (2006) e Boyce *et al.* (2002), os quais sugerem novas abordagens baseadas na regressão, alternativamente ao uso directo da regressão logística.

A regressão logística (RL) é um método estatístico da família dos modelos lineares generalizados (MLG; Miller & Franklin, 2002), vastamente disponível nos pacotes de software estatísticos (SPSS, SPLUS, *etc.*).

Na RL a variável dependente é binária (1/0), e o valor esperado pode ser modelado como $\Pr(Y=1)$, usando a transformação “logit” como “link” entre a componente aleatória (descrita pelo tipo de distribuição assumida) e a componente sistemática (que especifica a combinação linear das variáveis independentes; Quinn & Keough, 2002):

$$\text{logit}(P_i) = \left(\frac{P_i}{1 - P_i} \right) = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} \quad (1)$$

de onde, P_i é a probabilidade da espécie ser encontrada no local i , β_0 é o coeficiente/constante, x_k representa as variáveis independentes/factores ambientais, e β_k corresponde aos coeficientes das variáveis independentes (Miller & Franklin, 2002; Quinn & Keough, 2002; Agresti, 1996, *cited in* Wintle *et al.*, 2005). Note-se que o modelo de RL não é linear na variável resultado, mas é linear na função “logit”.

Por serem modelos simples e fáceis de manipular e integrar num ambiente SIG, continuam a ser imensamente úteis e aplicados em diversas áreas, para além de que a incerteza associada aos coeficientes e resultados previstos pode ser transportada nos erros padrão e nos intervalos de predição, o que não acontece por exemplo nos modelos aditivos generalizados (MAG), que são generalizações não-paramétricas dos MLG (Wintle *et al.*, 2005). No entanto, apesar das várias formas de análise de regressão predominantes na literatura, os MLG (especificamente a RL) e os MAG que utilizam informação do tipo presença-ausência parecem ser tipicamente o modelo escolhido (Guisan & Zimmermann, 2000).

Pelas razões acima mencionadas, optou-se pelo uso da RL neste estudo. Os modelos lineares generalizados finais, da distribuição potencial do elefante na área de estudo para cada estação do ano, foram seleccionados e ajustados para a informação apenas de presença utilizando um algoritmo de selecção “forward stepwise” (likelihood ratio), no software estatístico SPSS. A selecção entre modelos próximos foi feita com base no critério de informação de Akaike (e.g. Wintle e tal., 2005). Uma vez obtidos os modelos finais, estes foram usados num ambiente SIG para obtenção de probabilidades previstas de ocupação do elefante na Reserva Especial de Maputo.

iii) Validação

Na prática, demonstrar simplesmente que um dado modelo predictivo se ajusta bem aos dados não é de todo muito revelador (Boyce *et al.*, 2002).

Avaliar ou testar um modelo significa obter mais informação acerca da sua performance e fiabilidade, bem como fornecer informação adicional para a melhoria do mesmo. Tal avaliação auxilia ainda na determinação da adequabilidade de um modelo para aplicações específicas, facilita o estudo comparativo de modelos competitivos e técnicas de modelação (Pearce & Ferrier, 2000).

Existem várias medidas de avaliação de modelos predictivos, sendo que se encontram bem documentadas na literatura (e.g. Fielding & Bell, 1997).

Para o caso de estudo, optou-se por usar a área sob a curva ROC (“Receiver Operating Characteristic”), por ser uma medida independente de um valor de corte, o qual é muitas vezes estabelecido arbitrariamente aquando do uso de outras estatísticas (e.g. estatística-K), evita várias interpretações da exactidão do modelo (Fielding & Bell, 1997). A curva é obtida colocando a sensibilidade (a fracção de verdadeiros positivos) contra a fracção de falsos positivos (1 -

especificidade) para vários pontos de corte, e varia entre 0 e 1 (Boyce *et al.*, 2002; Pearce & Ferrier, 2000).

Wintle *et al.* (2005) referem que a área sob a curva é uma medida da capacidade discriminatória do modelo, medindo o grau para o qual o modelo classifica com maior êxito os locais de presença relativamente aos de ausência ao longo da área de estudo, e em termos de uma probabilidade prevista de ocorrência. Neste sentido, o objectivo do estudo deve ser classificar ou estabelecer áreas prioritárias com interesse do ponto de vista do seu valor relativo enquanto habitat para a espécie em causa. Em contrapartida, se o objectivo é prever com exactidão a proporção de locais que se espera estarem ocupados dada uma probabilidade de ocorrência, então a ênfase deve ser dada não à área sob a ROC, mas sim à fase de calibração estatística do modelo (Wintle *et al.*, 2005).

RESULTADOS

Quadro I - Resultados estatísticos obtidos para modelo de verão seleccionado

Modelo de Verão			
<i>Variáveis incluídas no modelo</i>			
Variável	D. Padrão	Coefficiente	P-value
Distância à população	0.241	-1.832	0.000
Distância à água	0.159	0.428	0.007
Distância às estradas	0.136	1.430	0.000
Constante	0.431	-1.761	0.000
Hosmer-Lemeshow's Goodness of fit			
Qui-quadrado	Graus de liberdade		P-value
237.160	8		0.000
<i>Variáveis excluídas do modelo</i>			
Variável		P-value	
Vegetação		0.826	

Nível de significância de 5%

Quadro II - Resultados estatísticos obtidos para modelo de inverno seleccionado

Modelo de Inverno			
<i>Variáveis incluídas no modelo</i>			
Variável	D. Padrão	Coefficiente	P-value
Distância à população	0.180	-1.290	0.000
Distância à água	0.140	0.691	0.000
Distância às estradas	0.121	1.135	0.000
Constante	0.370	-2.172	0.000
Hosmer-Lemeshow's Goodness of fit			
Qui-quadrado	Graus de liberdade		P-value
146.427	8		0.000
<i>Variáveis excluídas do modelo</i>			
Variável		P-value	
Vegetação		0.220	

Intervalo de Confiança(IC) de 95%

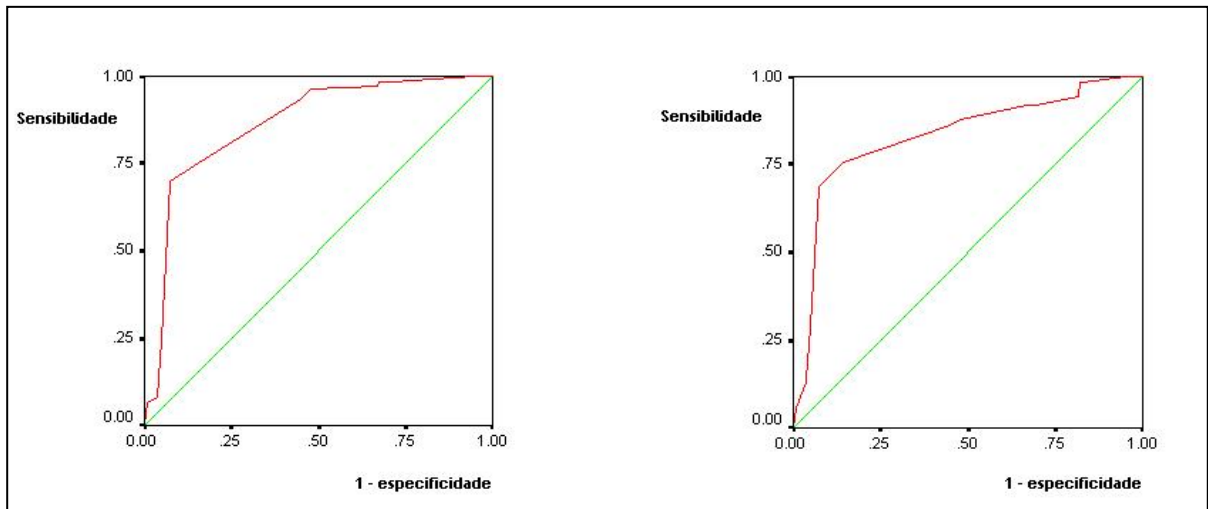


Figura 3 - Curva ROC do Modelo de Verão (A=0.863); (IC 95%: 0.822-0.904)

Figura 4 - Curva ROC do Modelo de Inverno (A=0.830); (IC 95%: 0.781-0.878)

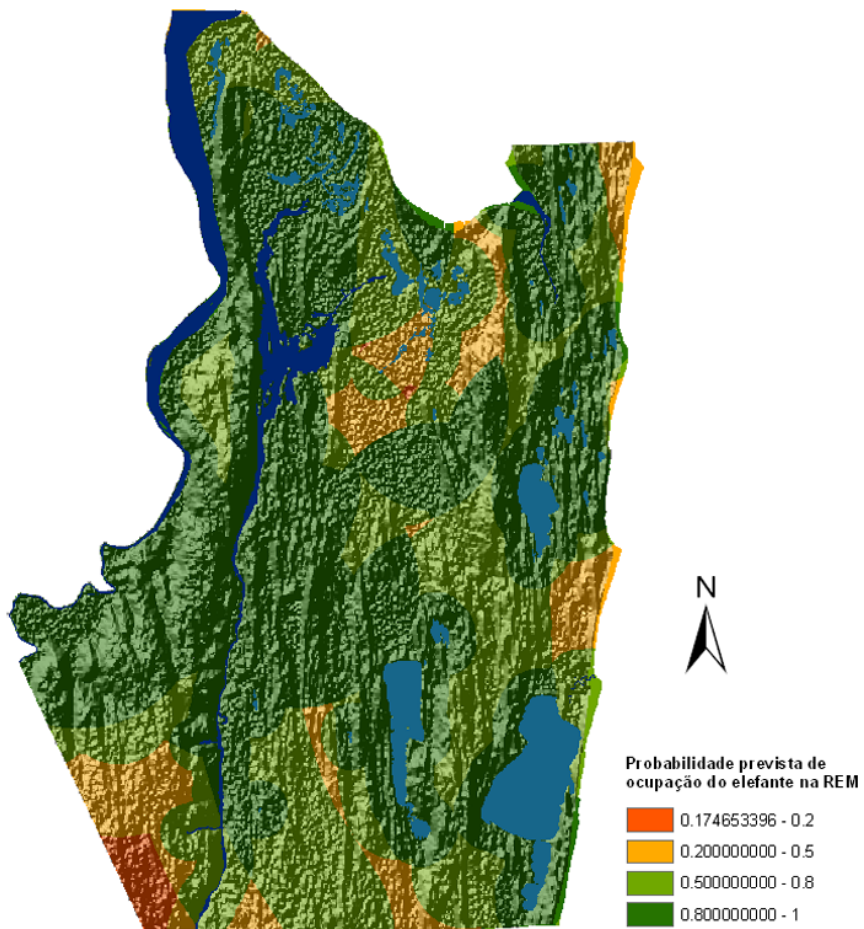


Figura 5 - Modelo de Verão - Representação espacial da probabilidade prevista de ocupação do elefante africano na REM, na estação das chuvas (verão).

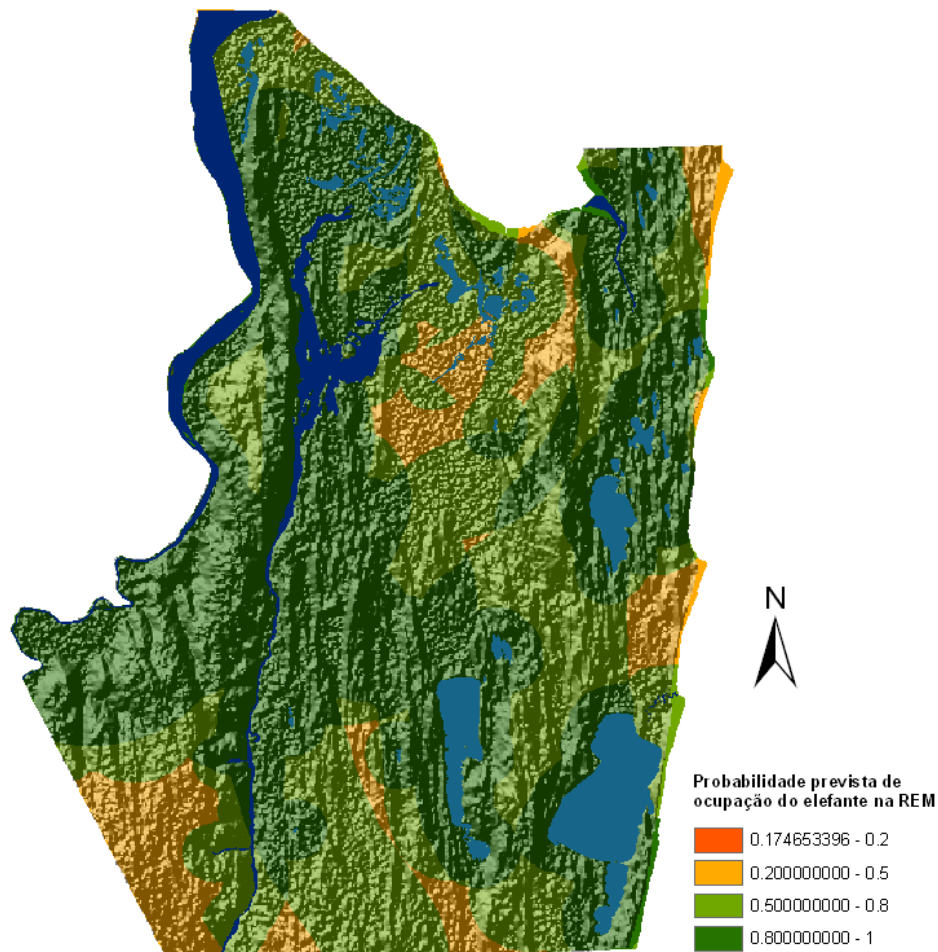


Figura 6 - Modelo de Inverno - Representação espacial da probabilidade prevista de ocupação do elefante africano na REM, na estação das scas (Inverno).

DISCUSSÃO

Por observação dos gráficos referentes às curvas ROC (Figura 3 e Figura 4), entende-se que ambos os modelos classificam adequadamente os locais (habitats) que devem ser prioritários do ponto de vista da gestão e conservação, tendo como base de arbitragem o valor sob a curva ROC, indicativo da fiabilidade dos valores probabilísticos obtidos. A área sob a curva ROC é de, relativamente ao modelo de Verão, 0.863 (IC 95%: 0.822-0.904). O melhor ponto de equilíbrio toma o valor de 0.8725, com sensibilidade de 75% e especificidade de 86%. Tais valores sugerem um “excelente” desempenho (cf. Hosmer & Lemeshow, 2000) do modelo para discriminar entre locais de presença relativamente aos de ausência de indivíduos na área de estudo (tendo em conta que um valor de 0.5 está associado a um modelo aleatório).

Analogamente, o modelo de Inverno cuja área sob a curva ROC é de 0.830 (IC: 0.781-0.878), também sugere um “excelente” desempenho (cf. Hosmer & Lemeshow, 2000), sendo que o ponto de corte de melhor equilíbrio toma o valor 0.8475, com sensibilidade de 75% e especificidade de 86%.

No entanto, salienta-se que, pela análise dos dados e para ambos os modelos, o teste do qui-quadrado usado na verificação da bondade do ajustamento (“Hosmer-Lemeshow’s Goodness of fit”) é significativo ($p < 0.0001$). Uma vez que o referido teste é usado para avaliar se o modelo se adequa aos dados e o qui-quadrado é significativo, sugere-se que ambos os modelos não se ajustam aos dados, i. é., não se rejeita a hipótese nula de que não há diferença entre os valores observados e os estimados pelo modelo a um dado nível aceitável.

Assim sendo, e conforme sugerido por Wintel *et al.* (2005), os resultados obtidos confirmam a hipótese de ser possível chegar a um modelo que, apesar de ter uma boa capacidade discriminatória, o mesmo não se passa com a de calibração.

Desta forma, sugere-se que os mapas obtidos, um por cada estação (Verão e Inverno), devem ser interpretados como representações probabilísticas obtidas recorrendo ao uso da regressão logística, mas cujo grau de incerteza associado à sua produção é múltiplo, e portanto não deverão reflectir uma representação exacta da distribuição do elefante africano na REM. Todavia, é aceitável considerar que os mesmos, tendo valores satisfatórios de área sob as curvas ROC providenciem uma classificação com fiabilidade das áreas interessantes e prioritárias sob o ponto de vista da gestão e conservação do habitat.

É importante salientar que a propagação de erros no processo de modelação afecta a performance do modelo final, sendo que no presente estudo os erros podem resultar da natureza dos dados e da própria falta de informação complementar e de base considerada importante na determinação da distribuição espacial do elefante na REM. Por exemplo, a distribuição actual da população humana carece de elementos informativos essenciais para a sua mais correcta determinação, como aquela relativa aos aglomerados populacionais de facto existentes dentro e em torno da REM. Mais, a quantificação do grau de distúrbio causado pela existência de estradas/picadas dentro e em torno da reserva, carece também de factores de ponderação (relativos ao seu grau de utilização). Tais ponderações podem reflectir melhor o impacto desta variável antropogénica na envolvente. A possibilidade da informação geográfica de base relativa a esta variável estar ainda incompleta, pode também estar a contribuir para a má calibração dos modelos.

Pela observação dos mapas de probabilidade (Figura 5 e Figura 6), verifica-se que grande parte da área prevista como sendo potencialmente adequada ao uso por parte dos elefantes (Nordeste e Sudeste da REM), não coincide com a que actualmente é utilizada pelos mesmos, embora tal já tenha acontecido no passado (cf, Tello, 1973). Razão pela qual, sugerimos também que a informação de base utilizada para a calibração do modelo não é completamente fidedigna e/ou completa.

Note-se que, a propósito da variável vegetação, esta foi eliminada no processo de selecção de variáveis e calibração de ambos os modelos por não ser estatisticamente significativa ($P > 0.05$, $\alpha = 0.05$; Tabela I e tabela II), pelo que tendo em conta o comportamento generalista desta espécie se sugere a possibilidade da sua distribuição não estar determinada por esta variável.

Todas as outras variáveis foram estatisticamente significativas ($P < 0.001$, $\alpha = 0.05$; Tabela I e tabela II) para ambos os modelos, o que se coaduna com o esperado, bem como a literatura documenta.

Finalmente, conforme referido por Elith e tal. (2006) e por Wintle *et al.* (2005), os modelos predictivos que fazem uso apenas de dados de presença podem não ser adequados para prever probabilidades com exactidão, uma vez que não incorporam com fiabilidade a informação relativa à prevalência (frequência de ocorrências) da espécie na área de estudo. Desta forma, propõe-se a exploração de técnicas alternativas que lidem melhor com o paradigma da informação apenas de presença. Por exemplo, alternativamente ao uso da RL nestas circunstâncias, Pearce e Boyce (2006) e Boyce *et al.* (2002) sugerem outras abordagens que contemplem o uso de métodos de control na regressão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sem se compreender quais são os habitats mais importantes para a manutenção das populações selvagens em áreas protegidas, neste caso do elefante africano na REM, e que padrões espaciais da paisagem potenciam a sua preservação não será possível investir convenientemente na gestão do habitat, quer para benefício da conservação local da espécie, quer para minorar os conflitos que existem entre populações e elefantes, ou que possam vir a existir na REM (caso da competição por recursos).

Os modelos lineares generalizados, especificamente a regressão logística, podem ser úteis do ponto de vista discriminante na medida em que produzem bons resultados para o estabelecimento de áreas de relativa adequabilidade para as espécies (e.g. Elith *et al.*, 2006; Wintle e tal, 2005). Desta forma podem ser considerados como ferramentas auxiliares na tomada de decisões que envolvam os problemas mencionados anteriormente, para além de que permitem obter um bom instrumento visual permanente de fácil interpretação.

No entanto, saliente-se que tais modelos não predizem com exactidão a probabilidade de ocorrência de uma dada espécie num dado local, revelando-se pobres quanto à capacidade de calibração, conforme os resultados obtidos no presente estudo. As causas podem ser várias consoante a espécie em causa, as características da região de estudo, o processo de obtenção das variáveis ambientais e da sua modelação, *etc.* Entre as possíveis já mencionadas na secção anterior, salienta-se que os elefantes são animais com elevada mobilidade, pelo que a opção de uma metodologia como a descrita neste trabalho terá sempre um grau de incerteza associado à informação de ausência da espécie. A separação entre “verdadeiras” ausências, onde os animais estão de facto ausentes, e “falsas” ausências, onde os animais ocorrem mas não são detectados, é difícil e origina incerteza aquando da interpretação dos resultados devido a potenciais análises enviesadas.

Finalmente, não se conhecendo com exactidão as fontes de erro presentes na modelação, ressalva-se que os resultados obtidos podem ainda reflectir que determinadas áreas potencialmente

favoráveis em termos ambientais para o elefante na REM (e.g. a nordeste e sudeste desta), poderão não estar ocupadas em virtude de determinados factores, como distúrbios passados ou efeitos aleatórios.

REFERÊNCIAS

- BEGON, MICHAEL; HARPER, J.; TOWNSEND, C; 1996. *Ecology*. Blackwell Science, 3ª Edição, 1068 pp.
- BOYCE, M.S.; VERNIER, P.R.; NIELSEN, S.E.; SCHMIEGELOW, F.K.A.; 2002, Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling*, 157: 281-300.
- BROTONS, L.; THUILLER. W.; ARAÚJO, M. B.; HIRZEL, A.; 2004. Presence-absence versus Presence-only Modelling Methods for Predicting Bird Habitat Suitability. *Ecography*, 27: 437-448.
- BULTE, E. H. & R. D. HORAN; 2003. Habitat conservation, wildlife extraction and agricultural expansion. *Journal of Environmental Economics and Management*, 45:109-127.
- PEREIRA, C.; BROUWER, R.; MONJANE, M.; FALCÃO, M.; 2001. CHAPOSA - Charcoal Potential in Southern Africa Research Project, Mozambique. *Final Report*. Eduardo Mondlane University, Faculty of Agriculture and Forestry and Forestry Department; Maputo, October 2001; 54 pp.
- COWLING, R.M. & G.I.H. Kerley; 2002. *Impacts of elephants on the flora and vegetation of subtropical thicket in the Eastern Cape*. In: Kerley, G.I.H., S.L. Wilson & A. Massey (eds.). *Elephant conservation and management in the Eastern Cape*, Workshop Proceedings. Unpublished Report, Terrestrial Ecology Research Unit, University of Port Elizabeth, Box 1600, Port Elizabeth, 6000, South Africa. Report 35, 88 pp.
- de BOER, W.F. & D.S. Baquete ; 1998. Natural Resource Use, Crop Damage and Attitudes of Rural People in the Vicinity of the Maputo Elephant Reserve, Mozambique. *Environmental Conservation*, 25(3): 208-218.
- de BOER, W. F.; NTUMI, C. P.; CORREIA, A. U.; MAFUCA, M.; 2000. Diet and Distribution of Elephant in the Maputo Elephant Reserve, Mozambique. *African Journal of Ecology*, 38: 199-201.
- de BOER, W.F. & NTUMI, C.P.; 2001. Elephant Crop Damage and Electric Fence Construction in the Maputo Elephant Reserve, Mozambique. *Pachyderm*, 30: 57-64.

- ELITH, J.; GRAHAM, C.H.; ANDERSON, R. P.; DUDÍK, M.; FERRIER, S.; GUIBAN, A.; J. HIJMANS, R. J.; HUETTMANN, F.; LEATHWICK, J. R.; LEHMANN, A.; LI, J.; G. LOHMANN, LUCIA; G. M., LOISELLE, B.; MANION, G., CRAIG, M.; NAKAMURA, M.; NAKAZAWA, Y.; McC. OVERTON, J.; PETERSON, A. T.; PHILIPS, S. J.; RICHARDSON, K.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; SCHAPIRE, R. E.; SOBEÓN, J.; WILLIAMS; WISZ, M. S.; ZIMMERMANN, E.; 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, **29**: 129-151.
- FIELDING, A. H. & J. F. BELL; 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* **24** (1): 38-49
- GRAHAM, C.H., FERRIER, S., HUETTMAN, F., Moritz, C.; PETERSON, A.T.; 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and Evolution*, **19**: 497-503.
- GUIBAN, A. & N. E. ZIMMERMANN, 2000. Predictive Habitat Distribution Models in Ecology. *Ecological Modelling*, **135**: 147-186.
- HOARE, R. E. & J. T. Du Toit; 1999. Coexistence between people and elephants in African savannas. *Conservation Biology*, **13**: 633-639.
- HOSMER, D. W. & S. LEMESHOW; 2000. *Applied Logistic Regression*. Wiley Series in Probability and Statistics, Canadá, 2ª Edição, 373 pp.
- KREBS, C. J.; 1994. Ecology. *The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. HarperCollins College Publishers, New York, 4ª edição, 801 pp.
- LATIMER, A. M.; WU S.; GELFAND, A. E.; SILANDER, J. A., Jr.; 2005. Building statistical models to analyze species distributions. *Ecological Applications* (in press). Available from the internet URL: <http://www.eeb.uconn.edu/faculty/silander/Buildingstatmodelsv2%20full%20ms.pdf>
- MATTHEWS, W.S.; VAN WYK, A.E.; VAN ROOYEN, N.; BOTHA, G.A.; 2001. Vegetation of the Tembe Elephant Park, Maputland, South Africa. *South African Journal of Botany*, **67**: 573-594.
- MILLER, J. & J. FRANKLIN; 2002. Modeling the Distribution of Four Vegetation Alliances Using Generalized Linear Models and classification Trees with Spatial Dependence. *Ecological Modelling*, **157**: 227-247.
- MINISTRY FOR THE COORDINATION OF ENVIRONMENTAL AFFAIRS (MCEA); 1997. *First National Report on the Conservation of Biological Diversity in Mozambique*. IMPACTO Lda, Maputo, Mozambique. 49 pp.

- NTUMI, C. P.; VAN AARDE, R. J.; FAIRALL, N.; de BOER, W. F. ; 2005. Use of Space and Habitat by Elephants (*Loxodonta africana*) in the Maputo Elephant Reserve, Mozambique. *South African Journal of Wildlife Research*, 35(2): 139-146.
- OSBORN, F. V. & G. E. PARKER; 2003. Linking two Elephant Refuges with a Corridor in the Communal Lands of Zimbabwe. *African Journal of Ecology*, 41: 68-74.
- OSBORN, F. V.; 2004. The Concept of Home Range in Relation to Elephants in Africa. *Pachyderm*, 37: 37-44.
- PEARCE, J. L. & M. BOYCE; 2006. Modelling distribution and abundance with presence-only data. *Journal of Applied Ecology*, 43(3): 405-412.
- PEARCE, J. & S. FERRIER; 2000. Evaluating the Predictive Performance of Habitat Models Developed using Logistic Regression. *Ecological Modelling*, 133: 225-245.
- QUINN, G. P.; M. J. KEOUGH; 2002. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge University Press, 556 pp.
- RHODES, J. R.; WIEGAND, T.; McALPINE, C. A.; CALLAGHAN, J.; LUNNEY, D.; BOWEN, M.; POSSINGHAM, H.; 2006. Modeling Species' Distributions to Improve Conservation in Semiurban Landscapes: Koala Case Study. *Conservation Biology*, 20: 449-459.
- RÔSINHA, A. J.; 1973. Da conveniência em se valorizar a "Reserva Especial do Maputo" mediante a introdução de algumas espécies faunísticas ali inexistentes. *Anais dos Serviços de Veterinária de Moçambique*, n.º 17/19, 1969 - 1971, pp. 63-73.
- SAID, M.Y.; CHUNGE, R.N.; CRAIG, G.C.; THOULESS, C.R.; BARNES, R.F.W.; DUBLIN, H.T.; 1995. African Elephant Database 1995. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission No. 11. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 225pp.
- TELLO, J.L.P.L.; 1973. Reconhecimento Ecológico da Reserva dos Elefantes do Maputo. *Revista de Veterinária Moçambicana*, 5/6: 1-186.
- WINTLE, BRENDAN A.; ELITH, JANE; POTTIS, JOANNE; 2005. Fauna and habitat modeling and mapping: A review and case study in the Lower Hunter Central Coast region of NSW . *Austral Ecology*, 30: 719-738

¹ Instituto Superior Técnico - ICIST
e-mail [*dora@civil.ist.utl.pt*](mailto:dora@civil.ist.utl.pt)

² Universidade dos Açores - D.C.A.
e-mail [*jpedro@mail.angra.uac.pt*](mailto:jpedro@mail.angra.uac.pt)

³ Universidade Eduardo Mondlane - D. C. B.
e-mail [*cpntumi@teledata.mz*](mailto:cpntumi@teledata.mz)