

Modelagem dos locais de nidificação para conservação da espécie *Melanosuchus niger in situ*: uma abordagem via sensoriamento remoto e Maxent

Gabriela Paola Ribeiro Banon¹
Camilo Daleles Rennó²
Eduardo Moraes Arraut^{1,3}
Gerald Jean Francis Banon⁴
Francisco Villamarín⁵
Boris Marioni⁶
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo¹

¹Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE,
12227-010, São José dos Campos-SP, Brasil
gabrielabanon@gmail.com, {eduardo.arraut, evlyn.novo}@inpe.br

²Divisão de Processamento de Imagem, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE,
12227-010, São José dos Campos-SP, Brasil
camilo@dpi.inpe.br

³Wildlife Conservation Research Unit, Zoology Department, Oxford University
The Recanati-Kaplan Centre, Tubney House, Abingdon Road, Tubney, Abingdon, OX13 5QL,
Reino Unido

⁴Aposentado de ²
gerald.banon@gmail.com

⁵Coordenação de Pesquisas em Biodiversidade, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA,
69060-001, Manaus-AM, Brasil
fco.villamarin@gmail.com

⁶Programa de Conservação de Crocodilianos Amazônicos, Instituto Piagaçu – IPI,
69000-000 Manaus-AM, Brasil
bmarioni@mac.com

Abstract. Conservation of *Melanosuchus niger* species is commonly based on protecting nesting sites, where the two most vulnerable life stages, neonates and reproductive females, remain for a considerable time. In large areas with difficult access from the ground, such as the Amazon basin, it is extremely demanding to identify nests using only field-based methods. Remote sensing can be an alternative for deriving environmental variables related to caiman nesting sites. However, only a few studies have been conducted using this technology for *M. niger* habitat mapping within the Amazon basin. Based on previous results and new hypotheses, we selected the following environmental variables for predicting nesting site occurrence of *M. niger* using Maxent: vertical and horizontal distances from water body at low and high water seasons, and horizontal distance from forest and non-forest. Additionally, to predicting occurrence, model outputs allowed for quantifying the relative contribution of these environmental variables. Results showed that, on average, females select nesting sites on the basis of horizontal distance from water body during the high water season. Predictions reveal that nests are associated to small water bodies, whose margins are humid owing to the high water table.

Keywords: Amazon floodplain, Black Caiman, Geotechnology Planície de inundação amazônica, Jacaré-açu, Geotecnologia

1. Introdução

A conservação de crocodilianos amazônicos, em especial da espécie *Melanosuchus niger* (Spix 1825), uma das mais exploradas pela ação antrópica (DA SILVEIRA; THORBJARNARSON, 1999; MARIONI; BOTERO-ARIAS; FONSECA-JUNIOR, 2013), passa pela aquisição contínua e

sistemática de dados em uma área cuja extensão é maior que a do continente europeu. Considerando-se a dificuldade de se obter tais dados, uma alternativa viável seria combinar os métodos de campo com geotecnologias (PETTORELLI et al., 2014). A conservação desta espécie na bacia amazônica ainda constitui um grande desafio que, até o momento, foi superado em poucas áreas extremamente restritas dentro da Amazônia.

Uma das maiores dificuldades é definir, nas zonas de conservação, quais são as áreas com potencial para abrigar os estágios de vida cruciais na manutenção da espécie. Com relação ao *M. niger*, todos os esforços estão concentrados nos locais de nidificação, onde se encontram os estágios de vida mais vulneráveis, os neonatos e as fêmeas em fase de reprodução. Por serem locais praticamente inacessíveis, as geotecnologias revelam-se uma poderosa ferramenta para derivar variáveis ambientais associadas à nidificação.

Poucos estudos buscaram identificar, por meio das imagens de sensoriamento remoto, os locais adequados à nidificação dos crocodilianos, e a maioria deles foi desenvolvida em planícies de inundação fora da bacia amazônica (DUFFETT; HARVEY; HILL, 2000; HARVEY; HILL, 2003; CAMPOS et al., 2015). Apenas o estudo de Villamarín et al. (2011) foi conduzido na Amazônia Central, com o objetivo de analisar os locais de nidificação a partir de dados derivados de imagens de satélite. Valendo-se de imagens ópticas do sensor Landsat-5/TM, os autores identificaram os corpos d'água abertos e descreveram uma relação entre os locais de nidificação de *M. niger* e a distância à margem do corpo d'água. No entanto, o uso da modelagem na identificação de locais com potencial para ocorrência de ninhos tem sido pouco explorado na bacia amazônica.

Neste estudo, foram avaliadas variáveis ambientais potencialmente relacionadas à ecologia da nidificação da espécie *M. niger*. Primeiro, identificaram-se as seguintes variáveis como relevantes na localização dos ninhos: distâncias horizontal e vertical ao corpo d'água mais próximo nos períodos de seca e cheia e distância horizontal às áreas de floresta e não floresta mais próximas. Segundo, combinaram-se diferentes fontes de dados de sensoriamento remoto (imagens ópticas e de radar) para superar os desafios associados ao mapeamento de variáveis ambientais, tais como: cobertura frequente de nuvens, inundação extensa sob a copa das árvores, água sob macrófitas e complexidade do relevo. Por último, realizou-se a modelagem da distribuição espacial dos locais de nidificação da espécie *M. niger*, por meio do algoritmo de máxima entropia (Maxent), o qual permitiu criar um mapa do potencial de ocorrência dos ninhos da espécie na área de estudo.

2. Materiais e métodos

2.1. Espécie estudada e sua ecologia de nidificação

A espécie *Melanosuchus niger* (grego: *melan* = preto; *suchus*= crocodiliano; latim: *niger* = preto), popularmente conhecida como jacaré-açu (tupi: *îakaré* = jacaré; *gûas* = grande), recebeu tais denominações em virtude da coloração escura de sua pele queratinizada e por atingir grandes extensões de comprimento. Fisicamente, esta espécie apresenta olhos largos e um focinho que vai se afunilando em direção à ponta (Figura 1).

Na várzea amazônica, a espécie *M. niger* inicia o seu período de nidificação entre os meses de setembro e novembro (na época de seca); a incubação varia de 85 a 90 dias; e, a eclosão dos ovos ocorre no início da cheia (HERRON; EMMONS; CADLE, 1990; THORBJARNARSON; SILVEIRA, 2000; VILLAMARÍN-JURADO; SUÁREZ, 2007). Esta espécie é muito seletiva na escolha do local de nidificação, escolhendo, principalmente, as margens dos corpos d'água que permanecem isolados do sistema hídrico principal e, portanto, são mais estáveis; bem como, as macrófitas sobre lagos pequenos e marginais (DA SILVEIRA; MAGNUSSON; CAMPOS, 1997; THORBJARNARSON; SILVEIRA, 2000; VILLAMARÍN-JURADO; SUÁREZ, 2007; VILLAMARÍN et al., 2011).

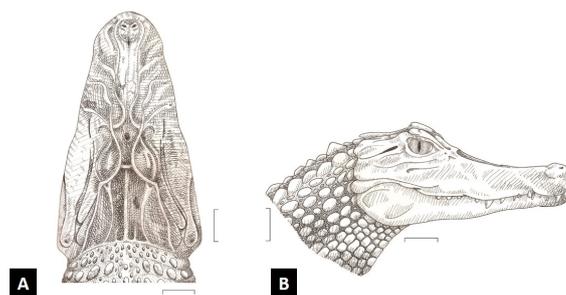


Figura 1: Aparência da espécie *Melanosuchus niger* (Spix 1825): (A) vista dorsal; (B) vista lateral. Barras de escala=10cm (Fonte: Ally Ribeiro 2016).

2.2. Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Piagaçu-Purus (RDS-PP), uma unidade de conservação inserida no estado brasileiro do Amazonas (Figura 2). A RDS-PP encontra-se entre os interflúvios Purus-Madeira e Purus-Juruá, abrangendo os municípios de Beruri, Codajás, Coari, Tapauá e Anori. Esta área representa uma planície de inundação que, em razão do pulso de inundação monomodal dos rios amazônicos Amazonas e Solimões (JUNK, 1997), está sujeita à entrada anual de grande fluxo de sedimentos em suspensão rico em nutrientes. A época de cheia ocorre entre os meses de maio e julho; enquanto a de seca, entre setembro e novembro.

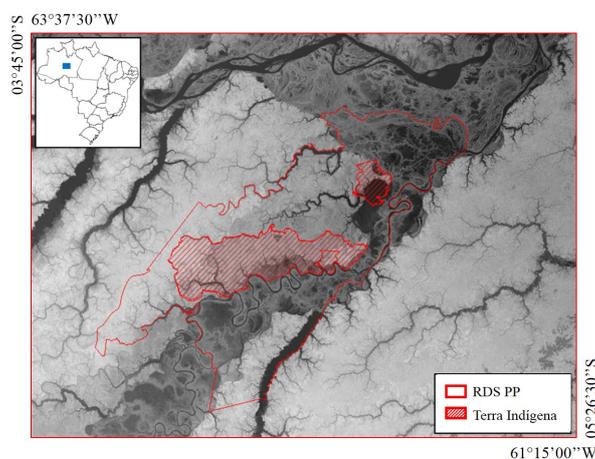


Figura 2: Localização da Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Piagaçu-Purus no estado brasileiro do Amazonas (quadrado azul). Os limites da reserva estão representados em vermelho sobre a imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Note que a RDS-PP compreende duas reservas indígenas.

2.3. Dados de campo

Os dados de campo são parte de um projeto de pesquisa do Dr. Boris Marioni (Processo nº 382508/2010-6), no qual 17 corpos d'água foram monitorados ao longo de três ciclos de nidificação, entre 2010-2012, de setembro (começo do período de nidificação) a janeiro (final do período de eclosão dos ovos). No total, 19 ninhos da espécie *M. niger* foram identificados na área de estudo e georreferenciados por meio de um equipamento de GPS.

2.4. Aquisição de dados e pré-processamento

Três imagens ópticas do sensor Landsat-5/TM foram adquiridas da *U.S. Geological Survey* (USGS: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>) nas bandas 3, 4 e 5 sobre a área de estudo, com

resolução espacial de 30m nas seguintes datas: 08-08-2006 (período de cheia, PC), 30-09-2008 (período de seca, PS) e 05-07-2011 (PC). O critério de seleção das imagens ópticas considerou os seguintes aspectos: mínima cobertura de nuvens, período do ano na área de estudo (PC ou PS) e datas representativas do pico de cada período. Às três bandas de cada uma dessas imagens, aplicaram-se filtros de restauração (FONSECA; MASCARENHAS; PRASAD, 1993). Duas imagens do sensor ALOS/Palsar foram obtidas da *Alaska Satellite Facility* (<<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>>) sobre a área de estudo, na banda L, modo Fine Beam, polarização HH e resolução espacial de 12,5m nas seguintes datas: 29-06-2010 (PC) e 29-09-2010 (PS). Em ambas as data, as imagens foram reamostradas de 12,5 para 30m, usando o interpolador vizinho mais próximo. A rede de drenagem disponibilizada pelo Instituto Nacional de Geografia e Estatística (IBGE: <<http://www.ibge.gov.br/>>) também foi adquirida. Modelos digitais de elevação (MDE) provenientes da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 1 arco-segundo (cerca de 30m), foram adquiridos da USGS. Ferramentas do Google EarthTM foram utilizadas para interpretação visual dos resultados da classificação e validação. Todas as imagens utilizadas neste estudo estavam georreferenciadas no sistema UTM/WGS-84 e foram recortadas nos seguintes limites: latitudes 3°49'49"S e 4°42'17"S, e longitudes 62°14'03"W e 61°42'54"W.

2.5. Derivação das variáveis ambientais

Com base nos resultados prévios de Banon et al. (2016) e em novas hipóteses, foram selecionadas as seguintes variáveis ambientais: distância vertical ao corpo d'água na seca (DVAs) e cheia (DVAc); distância horizontal ao corpo d'água na seca (DHAs) e na cheia (DHAc); e, distância horizontal às áreas de floresta (DHF) e não floresta (DHNF). Cada uma delas será explicada em detalhes a seguir. A Figura 3 apresenta as grades de cada variável ambiental. Para as máscaras de água/não água e floresta/não floresta, a acurácia da classificação foi avaliada pela exatidão global (STEHMAN; CZAPLEWSKI, 1998). Para cada máscara, foi feita uma amostragem aleatória estratificada, escolhendo-se 350 pontos no total. Os procedimentos de validação utilizaram as ferramentas do Google EarthTM no ambiente QGIS 2.2.0.

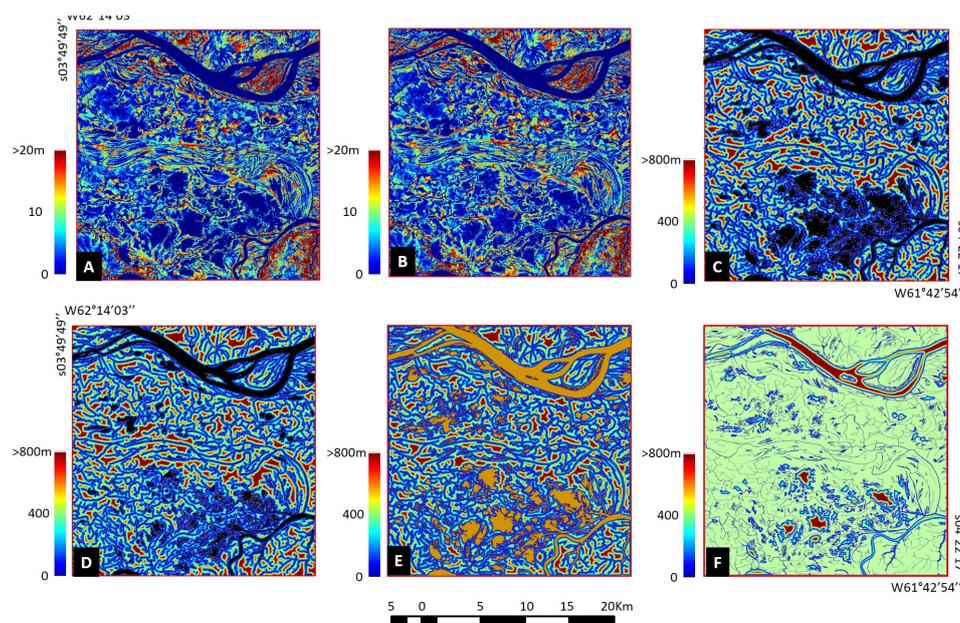


Figura 3: Grades das variáveis ambientais derivadas sobre a área de estudo: (A) DVAc, (B) DVAs, (C) DHAc, (D) DHAs, (E) DHF e (F) DHNF. Note que as máscaras de água na cheia e seca (preto) e as de não floresta (marrom) e floresta (verde) estão recobrendo as respectivas grades: (C), (D), (E) and (F).

2.5.1. Distância vertical ao corpo d'água

Quando avaliada na posição de um ninho, esta variável indica a altura relativa deste ao corpo d'água mais próximo, em uma determinada data, evidenciando os riscos de inundação. O atributo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) representa a distância vertical à rede de drenagem mais próxima (RENNÓ et al., 2008), indicando áreas onde o lençol freático está próximo à superfície (NOBRE et al., 2011). Em linhas gerais, o HAND requer três tipos de dados: um MDE, uma grade representativa da direção de fluxo local e uma rede de drenagem para indicar onde o lençol freático está próximo à superfície. A rede de drenagem foi extraída automaticamente, com base na metodologia proposta por Banon (2013). Devido ao comportamento dinâmico da rede de drenagem na região, foram produzidas duas grades de HAND, reunindo-se a rede de drenagem às máscaras de água de cada período (ver Subseção 2.5.2). Todos os procedimentos foram realizados no ambiente TerraHidro 4.2.2 (ROSIM et al., 2003).

2.5.2. Distância horizontal ao corpo d'água

Quando avaliada na posição de um ninho, esta variável indica a distância deste em relação ao corpo d'água mais próximo em uma determinada data. A banda 5 restaurada das imagens ópticas (PS: 30-09-2008 e PC: 05-07-2011) e as imagens de radar (PS: 29-09-2010 e PC: 29-06-2010) foram classificadas de forma independente, usando o método de classificação não supervisionado k-médias (MACKAY, 2003). As 30 classes obtidas (valor escolhido empiricamente) foram interpretadas usando as imagens do Google Earth™. A classe “não água” englobou as seguintes feições: floresta, solo exposto e macrófitas. As classes consideradas como “água” em um mesmo período foram reunidas pela operação booleana de união, resultando, assim, em uma máscara d'água. As redes de drenagem foram acrescentadas às máscaras d'água dos períodos de seca e cheia. Por fim, calculou-se a distância Euclidiana dos pixels da imagem ao corpo d'água mais próximo. Todos os procedimentos foram realizados no ambiente Spring 5.3 (CÂMARA et al., 1996). As máscaras de seca e de cheia resultaram em uma exatidão global de 0,89 e 0,91, respectivamente.

2.5.3. Distância horizontal às regiões de floresta e não floresta

Por caracterizar a proximidade à vegetação ou a sua ausência, estas duas variáveis, quando avaliadas na posição de um ninho, indicam a distância deste em relação ao acesso às fontes de alimento, à proteção contra a predação e exposição solar (SHINE; BROWN, 2008). As bandas 3, 4 e 5 restauradas da imagem óptica (PC: 08-08-2006) foram classificadas conjuntamente pelo método k-médias. A interpretação visual das 30 classes usou as imagens do Google Earth™. A classe “não floresta” englobou as seguintes feições: água (incluindo as redes de drenagem), solo exposto e macrófitas. Por fim, calculou-se a distância Euclidiana de cada pixel em relação às áreas de floresta e não floresta mais próxima. Todos os procedimentos foram realizados no ambiente Spring 5.3 (CÂMARA et al., 1996). A máscara obtida resultou em uma exatidão global de 0,86.

2.6. Modelagem dos locais de nidificação

O algoritmo Maxent (Maxent 3.3.3k <<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>>) foi utilizado para prever a distribuição espacial dos ninhos na área de estudo. A escolha deste modelo considerou as seguintes vantagens: uso exclusivo de dados de presença, evitando erros por registros de falsas ausências; possibilidade de utilizar variáveis contínuas e categóricas; análise da importância relativa de cada variável no modelo; e, desempenho preditivo superior ao de outros modelos de distribuição (ELITH et al., 2011; PEARSON et al., 2007). Neste trabalho, foram utilizados 19 registros de ocorrência de ninhos de *M. niger* e as grades das seis variáveis

ambientais consideradas. Para gerar o modelo, foram feitas 19 replicações usando o método de validação cruzada. As demais opções de *default* do programa foram mantidas (máximo de 500 iterações, limite de convergência igual a 0,00001, e no máximo 10.000 pontos como *background*). A acurácia do modelo foi avaliada pela AUC (*Area Under the Curve*) da curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*), cujos valores variam de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1,0, melhor o desempenho preditivo do modelo; mas, se forem iguais ou inferiores a 0,5, indicam modelos que não são melhores que a resposta puramente aleatória. O método *Jackknife* foi selecionado para medir a importância de cada variável no modelo (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006).

3. Resultados e Discussão

Com base nas seis variáveis de entrada, o Maxent gerou um modelo, com média de AUC no teste de 0,882, capaz de prever, na área de estudo, os locais com maior probabilidade de ocorrência dos ninhos de *M. niger*. Dentre as áreas indicadas, estavam os corpos d'água pequenos, estáveis e isolados, conforme descrito na literatura (DA SILVEIRA; MAGNUSSON; CAMPOS, 1997; THORBJARNARSON; SILVEIRA, 2000; VILLAMARÍN-JURADO; SUÁREZ, 2007; VILLAMARÍN et al., 2011); bem como, os corpos d'água pequenos que, durante a seca, sofrem retração de sua superfície, mas as margens permanecem úmidas, provavelmente, pela proximidade do lençol freático à superfície. Por outro lado, corpos d'água pequenos e estáveis, cujas margens são mais secas, parecem apresentar baixo potencial de ocorrência de ninhos (Figura 4).

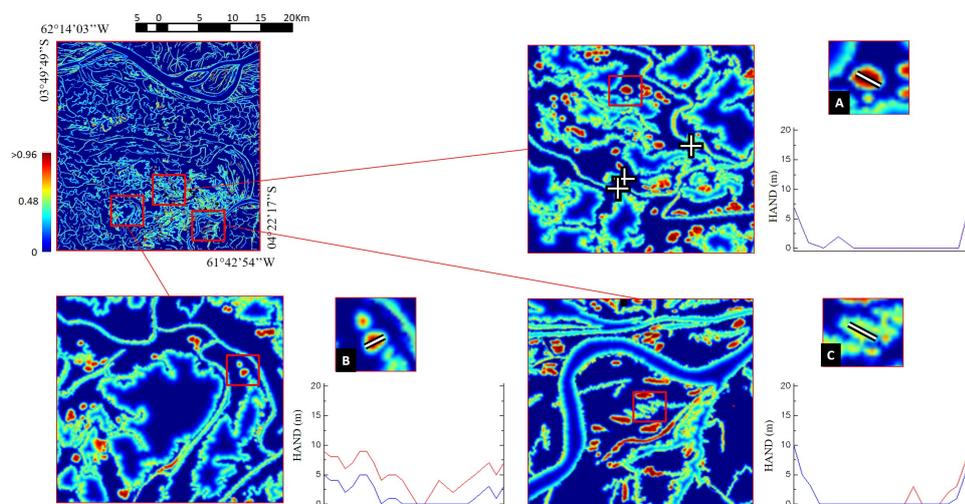


Figura 4: Mapa do potencial de ocorrência dos ninhos de *M. niger* na área de estudo e perfil do HAND em corpos d'água na seca (vermelho) e a cheia (azul). As cruzes brancas indicam a localização dos ninhos encontrados a campo. (A) Corpo d'água com alto potencial, cujas margens são estáveis e úmidas. (B) Corpo d'água com alto potencial, cujas margens mantêm a umidade apesar da retração na seca. (C) Corpo d'água com baixo potencial, cujas margens são estáveis e secas.

A Figura 5 apresenta o resultado do método *Jackknife*, usado para avaliar a importância das variáveis no desempenho do modelo. As variáveis DHAc e DVAc, ambas na cheia, demonstraram maior contribuição explicativa ao modelo (maiores ganhos no treinamento, quando usadas de forma isolada). As variáveis DHAc continha informações que não estavam presentes em outras variáveis (maior prejuízo para o desempenho preditivo do modelo no treinamento quando omitida). As distâncias horizontal e vertical ao corpo d'água na cheia revelam indícios sobre a umidade do solo e o risco de inundação em cada ponto da cena. Assim, estas variáveis vão ao encontro do comportamento materno das fêmeas de nidificar em locais com um bom compromisso entre a proximidade ao corpo d'água e o baixo risco de

inundação (VILLAMARÍN et al., 2011). Embora as variáveis DHF e DHNF tenham apresentado um ganho menor, quando utilizadas de forma isolada, a omissão de ambas traria um prejuízo considerável para o modelo. Logo, a informação trazida por DHF e DHNF não pôde ser totalmente substituída pelas demais variáveis de entrada do modelo. Estes resultados podem ser interpretados levando em conta o fato de que as fêmeas não costumam adentrar as florestas, nidificando preferencialmente na margem dos corpos d'água (THORBJARNARSON; SILVEIRA, 2000; VILLAMARÍN et al., 2011). Pode-se considerar, portanto, a importância das variáveis DHF e DHNF na restrição das áreas com potencial para abrigar os ninhos da espécie *M. niger*.

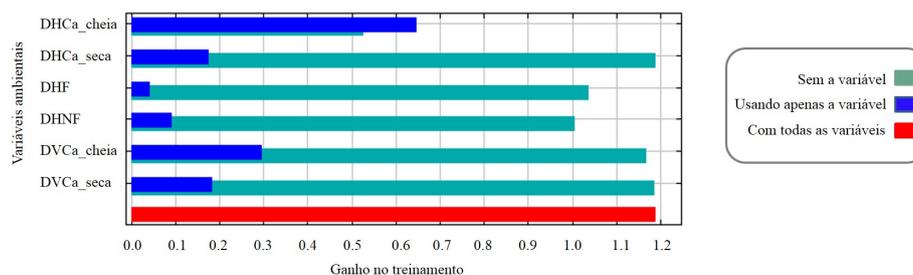


Figura 5: Importância das variáveis ambientais no ganho de treinamento do modelo final de localização dos ninhos de *M. niger*. As barras azuis indicam o desempenho do modelo usando somente a variável em comparação com o modelo completo (barra vermelha) e as barras verdes indicam o desempenho do modelo excluindo a variável. Os valores são uma média de 19 replicações.

4. Conclusões

A distribuição dos ninhos da espécie *M. niger* mostrou-se dependente das distâncias ao corpo d'água na cheia, principalmente a horizontal. O modelo indica as seguintes áreas como potenciais para ocorrência dos ninhos desta espécie: corpos d'água pequenos, cujas margens permanecem úmidas devido à proximidade do lençol freático à superfície. Embora a DHF e a DHNF apresentem pouca contribuição quando analisadas isoladamente, estas variáveis podem ajudar a restringir as áreas de preferência das fêmeas para nidificar. As seis variáveis aqui consideradas (DVAs, DVAc, DHAs, DHAc, DHF e DHNF) parecem ser importantes para modelar a distribuição dos locais de nidificação da espécie *M. niger*.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelos recursos que possibilitaram a realização desta pesquisa (Processo: 299340198-09), ao CNPq (Processos 382508/2010 e 550373/2010-1) pelo suporte na aquisição de dados de localização de ninhos usados nessa pesquisa e à Dr.^a Silvana Amaral (DPI/INPE) pelas contribuições na interpretação dos resultados do modelo Maxent.

Referências

- BANON, G. P. R. et al. Amazon-wide caiman conservation: Exploring possibilities for the remote sensing of relevant environmental variables. Submetido para *Acta Amazonica*, 2016.
- BANON, L. C. *Árvores de decisão aplicadas à extração automática de redes de drenagem*. 111 p. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2013-12-18 2013.
- CÂMARA, G. et al. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computer and Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395–403, 1996.
- CAMPOS, Z. et al. Spatial and temporal variation in reproduction of a generalist crocodylian, *Caiman crocodylus yacare*, in a seasonally flooded wetland. *PLoS ONE*, v. 10, n. 6, p. e0129368, 2015.
- DA SILVEIRA, R.; MAGNUSSON, W. E.; CAMPOS, Z. Monitoring the distribution, abundance and breeding areas of *Caiman crocodylus crocodylus* and *Melanosuchus niger* in the Anavilhanas Archipelago, Central Amazonia, Brazil. *Journal of Herpetology*, v. 31, n. 4, p. 514–520, 1997.

- DA SILVEIRA, R.; THORBJARNARSON, J. B. Conservation implications of commercial hunting of Black and Spectacled Caiman in the Mamirauá Sustainable Development Reserve, Brazil. *Biological Conservation*, v. 88, n. 1, p. 103–109, 1999.
- DUFFETT, M. L.; HARVEY, K. R.; HILL, G. J. E. Saltwater crocodile nesting habitat suitability mapping with Landsat TM and GIS, Northern Territory, Australia. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 24 a 28 de julho de 2000, Honolulu, HI. *Proceedings...* [S.l.], 2000. v. 5, p. 1918–1920.
- ELITH, J. et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, v. 17, n. 1, p. 43–57, 2011.
- FONSECA, L. M. G.; MASCARENHAS, N. D. D.; PRASAD, G. S. S. D. Combined interpolation-restoration of Landsat images through FIR filter design techniques. *International Journal of Remote Sensing*, v. 14, n. 13, p. 2547–2561, 1993.
- HARVEY, K. R.; HILL, G. J. E. Mapping the nesting habitats of saltwater crocodiles (*Crocodylus porosus*) in Melacca Swamp and the Adelaide River wetlands, Northern Territory: An approach using remote sensing and GIS. *Wildlife Research*, v. 30, n. 4, p. 365–375, 2003.
- HERRON, J. C.; EMMONS, L. H.; CADLE, J. E. Observations on reproduction in the Black Caiman, *Melanosuchus niger*. *Journal of Herpetology*, v. 24, n. 3, p. 314–316, 1990.
- JUNK, W. J. General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains. In: JUNK, W. J. (Ed.). *The central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system*. Berlin: Springer, 1997. v. 126, p. 3–20.
- MACKAY, D. J. C. An example inference task: Clustering. In: MACKAY, D. J. C. (Ed.). *Information Theory, Inference and Learning Algorithms*. New York: Cambridge University Press, 2003. p. 284–292.
- MARIONI, B.; BOTERO-ARIAS, R.; FONSECA-JUNIOR, S. F. Local community involvement as a basis for sustainable crocodilian management in Protected Areas of Central Amazonia: Problem or solution? *Tropical Conservation Science*, v. 6, n. 4, p. 484–492, 2013.
- NOBRE, A. D. et al. Height Above the Nearest Drainage, a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*, v. 404, n. 1-2, p. 13–29, June 2011.
- PEARSON, R. G. et al. Predicting species distribution from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, v. 34, p. 102–117, 2007.
- PETTORELLI, N. et al. Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*, v. 51, p. 839–848, 2014.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, v. 190, n. 3-4, p. 231–259, 2006.
- RENNÓ, C. D. et al. HAND, new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in amazonia. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 3469–3481, 2008.
- ROSIM, S. et al. TerraHidro: uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para a análise integrada de recursos hídricos. In: EPIPHANIO, J. C. N.; FONSECA, L. M. G. (Ed.). *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2589 – 2596.
- SHINE, R.; BROWN, G. P. Adapting to the unpredictable: reproductive biology of vertebrates in the Australian wet-dry tropics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 363, n. 1490, p. 363–373, 2008.
- STEHMAN, S. V.; CZAPLEWSKI, R. L. Design and analysis for thematic map accuracy assessment: Fundamental principles. *Remote Sensing of the Environment*, v. 64, p. 331–344, 1998.
- THORBJARNARSON, J. B.; SILVEIRA, R. D. Secrets of the flooded forest. *Natural History*, v. 109, n. 2, p. 70–79, 2000.
- VILLAMARÍN, F. et al. Conservation and management implications of nest-site selection of the sympatric crocodilians *Melanosuchus niger* and *Caiman crocodilus* in Central Amazonia, Brazil. *Biological Conservation*, v. 144, p. 913–919, 2011.
- VILLAMARÍN-JURADO, F.; SUÁREZ, E. Nesting of the Black Caiman (*Melanosuchus niger*) in Northeastern Ecuador. *Journal of Herpetology*, v. 41, n. 1, p. 164–167, 2007.