



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

[urlib.net/www/2014/06.03.12.11-RPQ](http://urlib.net/www/2014/06.03.12.11-RPQ)

**APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA  
INFERÊNCIA DE ÁREAS COM POTENCIAL PARA  
ABRIGAR NINHOS DE CROCODILIANOS**

Gabriela Paola Ribeiro Banon  
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/J8LNKB5R7W/3GDNS4E>>

INPE  
São José dos Campos  
2015

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

## **COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):**

### **Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **Membros:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas  
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos  
(CPT)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação  
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

[urlib.net/www/2014/06.03.12.11-RPQ](http://urlib.net/www/2014/06.03.12.11-RPQ)

**APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA  
INFERÊNCIA DE ÁREAS COM POTENCIAL PARA  
ABRIGAR NINHOS DE CROCODILIANOS**

Gabriela Paola Ribeiro Banon  
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/J8LNKB5R7W/3GDNS4E>>

INPE  
São José dos Campos  
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Banon, Gabriela Paola Ribeiro.

B227i      Aplicação do sensoriamento remoto na inferência de áreas com potencial para abrigar ninhos de crocodilianos / Gabriela Paola Ribeiro Banon; Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo. – São José dos Campos : INPE, 2015.

40 p. ; (urlib.net/www/2014/06.03.12.11-RPQ)

1. Imagem de Satélite. 2. Nidificação. 3. Planície de Inundação. 4. Processamento de Imagem. 5. Sensor Óptico. 6. Répteis. I. Título.

CDU 004.451.53

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

## RESUMO

Os crocodilianos estão amplamente difundidos em habitats aquáticos tropicais. Esses répteis contribuem para a manutenção da estrutura e da função do ecossistema por meio de suas atividades. Proteger os crocodilianos é importante devido a sua influência sobre os níveis tróficos inferiores, uma vez que eles tendem a ocupar os patamares mais altos de uma cadeia alimentar. No entanto, eles são considerados uma ameaça aos homens e, mais importante, há um comércio internacional crescente com a pele desses animais. Além disso, os crocodilianos são fortemente afetados pela perda do habitat e poluição dos ambientes aquáticos. Em resumo, a combinação entre perda do habitat, poluição de ambientes aquáticos, exploração comercial e caça indiscriminada tem levado inúmeras espécies de crocodilianos à eminência da extinção. Os habitats dos estágios de vida mais vulneráveis em uma população (neonatos e fêmeas em reprodução) são de particular interesse para as propostas de conservação. Considerando os cuidados maternos prolongados dos crocodilianos e a longa permanência dos filhotes e das fêmeas ao redor do ninho, todos os esforços devem voltar-se aos locais de nidificação. Tendo em vista que os habitats relacionados à nidificação dos crocodilos são de difícil acesso, o sensoriamento remoto pode oferecer um método confiável e custo-efetivo para estimar as variáveis ambientais decisivas. Este estudo apresenta uma revisão das abordagens de sensoriamento remoto usadas com o intuito de avaliar e mapear os habitats relacionados à nidificação de répteis (especialmente crocodilianos) em áreas alagadas ao redor do globo. Esta revisão discute assuntos relacionados às variáveis ambientais específicas que influenciam na seleção dos locais de nidificação e às vantagens de se usar o sensoriamento remoto na obtenção dos dados em áreas alagadas. Conclusões gerais sobre o tema central são oferecidas.



# INTERNET BASED IDENTIFIER - DRAFT STANDARD

## ABSTRACT

Crocodylians are widespread occupants of tropical aquatic habitats. These reptiles contribute to the maintenance of ecosystem structure and function by their activities. Protecting crocodylians is important due to their influence upon lower trophic levels, since they tend to occupy the highest level of a food chain. However, they are considered to represent a threat to human and, more importantly, there is a growing international trade in crocodylian skin. Moreover, they are also heavily impacted by habitat loss and pollution of aquatic environments. In short, a combination of habitat loss, pollution of aquatic environments, commercial exploitation and indiscriminate hunting has brought several crocodylian species on the verge of extinction. Habitats of the most vulnerable life-stages within a population (neonates and reproducing females) are of particular interest for conservation purpose. Considering the crocodylian prolonged maternal care and long stay of the young and females surrounding the original nest, all efforts should focus on nesting site. Because crocodile nesting habitats are difficult to access, remote sensing can offer a cost-effective and reliable method for estimating key environmental variables. This study presents a review of remote sensing approaches for assessing and mapping the nesting habitats of reptiles (especially crocodiles) in wetlands across the globe. This review discusses the issues surrounding specific environmental variables that influence nest-site selection and advantages of using remote sensing for collecting data in wetland. General conclusions on the central theme are given.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Ilustração da caça de um crocodiliano e de quelônios por nativos no rio Amazonas, Brasil – São José dos Campos – 2014 . . . . .	2
1.2 Ilustração do comportamento materno de uma fêmea crocodiliana que carrega gentilmente seu filhote na boca – São José dos Campos – 2014 . . . . .	4



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Apresentação de variáveis de estudo quanto ao fato de terem sido consideradas (S) ou não (N) nas análises dos artigos revisados. O símbolo asterisco (*) indica que a variável foi utilizada apenas no processamento de imagem – São José dos Campos – 2014 . . . . .	7
2.2 Apresentação de técnicas de sensoriamento remoto quanto ao fato de terem sido consideradas (S) ou não (N) na metodologia dos artigos revisados. O traço (-) indica que não havia especificações detalhadas sobre origem dos dados – São José dos Campos – 2014 . . . . .	9
2.3 Apresentação de métodos de processamento de imagem quanto ao fato de terem sido considerados (S) ou não (N) na metodologia dos artigos revisados. O traço (-) indica que não havia especificações detalhadas sobre origem dos dados – São José dos Campos – 2014 . . . . .	10
2.4 Apresentação dos produtos finais e da validação em amostras distintas quanto à observação (S) ou não (N) nos artigos revisados – São José dos Campos – 2014 . . . . .	13



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 Introdução e contexto biológico</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2 Desenvolvimento</b> . . . . .	<b>5</b>
2.1 Tema de estudo . . . . .	5
2.2 Problemas relacionados ao tema . . . . .	5
2.3 Hipóteses conceituais . . . . .	5
2.4 Áreas de estudo . . . . .	6
2.5 Espécies de répteis e período de nidificação . . . . .	6
2.6 Variáveis de estudo . . . . .	6
2.6.1 Altura do ninho ou $V_1$ . . . . .	6
2.6.2 Distância do ninho ao corpo d'água ou $V_2$ . . . . .	7
2.6.3 Uso e cobertura do solo ou $V_3$ . . . . .	7
2.6.4 Índice de estabilidade do corpo d'água (OWSI) ou $V_4$ . . . . .	8
2.6.5 Adequabilidade de uma área ou $V_5$ . . . . .	8
2.6.6 Porcentagem de sombra ou $V_6$ . . . . .	8
2.7 Dados hidrológicos . . . . .	9
2.8 Análise por sensoriamento remoto . . . . .	9
2.9 Métodos de processamento de imagem . . . . .	10
2.10 Principais resultados e observações . . . . .	13
<b>3 Considerações gerais</b> . . . . .	<b>17</b>
3.1 Aspectos biológicos e variáveis de estudo . . . . .	17
3.2 Sensoriamento remoto . . . . .	19
3.3 Resolução espacial . . . . .	21
<b>4 Conclusões gerais</b> . . . . .	<b>23</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> . . . . .	<b>25</b>



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$A_{LW}$	–	Área do corpo d'água aberto na seca
$A_{HW}$	–	Área do corpo d'água aberto na cheia
Comb. classif.	–	Combinação dos resultados da classificação
Dilat.	–	Dilatação
ERDAS	–	<i>Earth Resources Data Analysis System</i>
Georref.	–	Georreferenciamento
Graf.	–	Gráficos
HRV	–	<i>High Resolution Visible</i>
ISODATA	–	<i>Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique</i>
LIDAR	–	<i>Light Detection And Ranging</i>
m	–	metros
MDE	–	Modelo Digital de Elevação
N	–	Não
OWSI	–	<i>Open-Water Stability Index</i>
PAN	–	Pancromático
S	–	Sim
SPOT	–	<i>Satellite Pour l'Observation de la Terre</i>
SRTM	–	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
Superv.	–	Supervisionada
TM	–	<i>Thematic Mapper</i>
$V_1$	–	Variável altura do ninho
$V_2$	–	Variável distância do ninho ao corpo d'água
$V_3$	–	Variável uso do solo
$V_4$	–	Variável índice de estabilidade do corpo d'água
$V_5$	–	Variável adequabilidade de uma área
$V_6$	–	Variável porcentagem de sombra
XP	–	Multiespectral



## 1 Introdução e contexto biológico

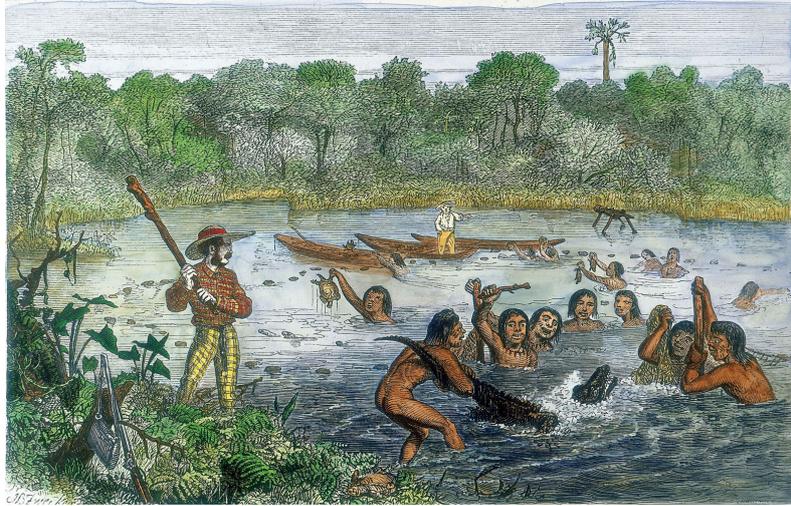
Os crocodilianos da Família *Alligatoridae* constituem espécies fundamentais na manutenção da estrutura e da função de um ecossistema (THORBJARNARSON, 1992). Como predadores aquáticos de alta mobilidade, os crocodilianos alimentam-se de uma ampla variedade de presas (CAMPBELL et al., 2013), ocupando sempre o topo das relações tróficas (VERDADE, 2004). Por isso, além de desempenharem uma função relevante no equilíbrio da cadeia alimentar (VERDADE, 2004), os crocodilianos favorecem a inter-relação entre os habitats e o consequente transporte de nutrientes e de energia entre os sistemas (CAMPBELL et al., 2013). Logo, qualquer ameaça a essas espécies promove um impacto sucessivo sobre toda a cadeia alimentar, o que pode ser mensurado em termos de perda significativa de biodiversidade, potencial econômico e estabilidade do ecossistema (THORBJARNARSON, 1992).

Os crocodilianos possuem aspectos únicos em sua história natural que acarretam desafios peculiares às iniciativas de conservação dessas espécies (THORBJARNARSON, 1992). Desde tempos imemoráveis, o histórico de caça aos crocodilianos por seres humanos é conhecido (Figura 1.1), quer seja por seu valor nutricional e medicinal, quer seja por seu aspecto ameaçador aos homens e às suas criações de animais (THORBJARNARSON, 1992). Os séculos XIX e XX foram marcados pela ampla exploração humana dos crocodilianos, em resposta à demanda comercial elevada pelo couro desses animais (THORBJARNARSON, 1992). A exploração comercial excessiva e caça indiscriminada provocou uma drástica diminuição das populações silvestres (MARIONI, 2013), o que, quando em conjunção com perdas importantes dos habitats (THORBJARNARSON, 1992), tem levado inúmeras espécies à eminência da extinção (MARIONI, 2013; THORBJARNARSON, 1992).

Graças à considerável resiliência, bem como a legislações nacionais e internacionais mais incisivas contra o uso e o comércio da fauna, algumas populações de crocodilianos estão se recuperando paulatinamente da depleção em inúmeras localidades (MARIONI, 2013). Para alavancar esse aumento populacional e sustentar essas taxas elevadas, medidas devem ser tomadas visando proteger o habitat ocupado pela espécie durante os estágios de vida mais vulneráveis. No caso dos crocodilianos, a principal abordagem é proteger tipos específicos de habitats escolhidos pelas fêmeas em reprodução e pelos neonatos (SOMAWEERA et al., 2011).

Os crocodilianos normalmente estão distribuídos nas regiões de clima tropical úmido, caracterizadas por temperaturas altas e estáveis ao longo do ano, bem como por chuvas abundantes e sazonais que variam anual e espacialmente (SHINE; BROWN,

Figura 1.1 - Ilustração da caça de um crocodiliano e de quelônios por nativos no rio Amazonas, Brasil – São José dos Campos – 2014



Gravura feita pelo naturalista inglês Henry Bates durante sua expedição pela Amazônia brasileira. A caça ao crocodiliano foi descrita em seu livro *O naturalista do rio Amazonas*, 1863.

Fonte: Bueno (2012) e Britannica Escola Online (2014).

2008). Para lidar com a heterogeneidade temporal e espacial desses habitats naturais, a opção evolutiva que os crocodilianos encontraram foi lançar mão de mecanismos para impedir que os ovos e os filhotes — estágios evolutivos de maior vulnerabilidade a flutuações ambientais — fossem submetidos a extremos climáticos, principalmente em termos de precipitação (SHINE; BROWN, 2008).

Uma medida adaptativa de proteção efetiva é a seleção, por parte das fêmeas, de locais apropriados para a nidificação, com atenção especial à questão das precipitações (SHINE; BROWN, 2008). Essa atenção se deve ao efeito das chuvas sobre as condições hidrológicas do solo e sobre a temperatura da superfície terrestre (SHINE; BROWN, 2008). No caso dos crocodilianos, a temperatura de incubação dos ovos determina o gênero (GALLEGOS et al., 2008), o tamanho, a forma e o comportamento dos filhotes recém-eclodidos. Logo, flutuações mínimas nas condições de incubação afetam profundamente esses filhotes (SHINE; BROWN, 2008). Além disso, a inundação dos ninhos é uma das principais causas de perda de ovos e de mortalidade dos filhotes (MAGNUSSON et al., 1980b).

Dada a importância dessa medida adaptativa, as fêmeas de crocodilianos não pou-

pam esforços para encontrar locais apropriados à nidificação (CAMPBELL et al., 2013). Geralmente, elas viajam longas distâncias em busca de áreas alagadas com condições ideais para nidificar (CAMPBELL et al., 2013; MAGNUSSON et al., 1978), em particular: a presença de materiais para construção de ninhos, o acesso fácil ao corpo d'água, e a baixa probabilidade de inundação dos ninhos durante a cheia (MAGNUSSON, 1980a). O tipo de construção elaborada pela fêmea (buraco escavado no solo ou monte formado por folhas mortas) também é uma resposta adaptativa à probabilidade de inundação desses ninhos em um determinado local (THORBJARNARSON, 1989).

Outra medida adaptativa de proteção efetiva é o comportamento materno de guardar o ninho durante a incubação (LANCE, 2003; SHINE; BROWN, 2008; THORBJARNARSON, 1989) e de se manter próxima dos filhotes em seus primeiros meses de vida (JUNK; SILVA, 1997; SHINE; BROWN, 2008; THORBJARNARSON, 1989). A proximidade da fêmea afasta crocodilianos e outros predadores em potencial do local do ninho. A fêmea, atraída pela vocalização dos filhotes após a eclosão, também auxilia seus filhotes a emergirem do ninho e, com a boca (Figura 1.2), ela os transporta até a margem d'água mais próxima (THORBJARNARSON, 1989). Em geral, os filhotes recém-eclodidos permanecem próximos à mãe e aos ninhos de origem por vários meses (SOMAWEERA et al., 2011), obtendo a proteção necessária que a proximidade dela lhes confere (THORBJARNARSON, 1992). Após o primeiro ano de vida, os filhotes crescem consideravelmente, ganham independência e dispersam-se. A partir deste momento, deixam de ser presas e passam a atuar como predadores (GALLEGOS et al., 2008).

Diante do exposto, pode-se afirmar que os locais de nidificação são pontos fundamentais para o estabelecimento de uma iniciativa de conservação. A questão agora recai sobre qual a forma mais apropriada de se avaliar esses locais. Para selecionar as melhores estratégias, é preciso conhecer as condições mínimas desses habitats. As fêmeas têm predileção por construir seus ninhos em áreas alagadas (várzeas) (CAMPBELL et al., 2013), ou seja, regiões marcadas pela ampla heterogeneidade espacial e temporal, dada a alternância sazonal da paisagem (PAINTER et al., 2008). Além disso, em geral, os ninhos são encontrados em áreas afastadas e de difícil acesso (MAGNUSSON et al., 1980b).

Considerando fatores como acesso, custo e logística, pode-se dizer que análises restritas a técnicas de pesquisa a campo seriam muito limitadas para se obter um monitoramento efetivo desses locais de nidificação. O sensoriamento remoto, por outro lado, é uma alternativa que, além de custo-efetiva, tem potencial para ir ao

Figura 1.2 - Ilustração do comportamento materno de uma fêmea crocodiliana que carrega gentilmente seu filhote na boca – São José dos Campos – 2014



Fonte: Britton (2014).

encontro das expectativas nesse tipo de avaliação. Em outras palavras, o sensoriamento remoto pode fornecer dados relevantes sobre a ampla variedade de fatores bióticos e abióticos nos habitats que acolhem os ninhos.

Após um levantamento exaustivo, elaborou-se esta revisão bibliográfica com o objetivo de se estabelecer o estado da arte na avaliação dos locais de nidificação de crocodilianos usando o sensoriamento remoto. Por essa razão, este estudo abrangeu diferentes planícies de inundação do planeta.

Embora os crocodilianos da Família *Alligatoridae* sejam o foco principal, um dos trabalhos contemplados nesta revisão versa sobre ninhos construídos pelas fêmeas de outra Família de répteis, a *Cheloniidae* (LÓPEZ et al., 2013). A justificativa para se incluir este artigo na revisão foi tanto pela escassez de estudos sobre o tema quanto pelo interesse em analisar como o problema foi abordado na atualidade e quais as variáveis ambientais estudadas no habitat de uma espécie cuja biologia de reprodução guarda muitas semelhanças com a dos crocodilianos.

## **2 Desenvolvimento**

Esta revisão bibliográfica buscou desenvolver uma análise aprofundada do tema de estudo com base nas pesquisas científicas dos seguintes autores: Duffett et al. (2000), Harvey e Hill (2003), Villamarín et al. (2011) e López et al. (2013).

### **2.1 Tema de estudo**

Todos os artigos científicos avaliados nesta revisão versam sobre a aplicação do sensoriamento remoto no levantamento de variáveis ambientais inter-relacionadas com o comportamento materno dos répteis de selecionar locais adequados para a nidificação e o desenvolvimento dos futuros filhotes.

### **2.2 Problemas relacionados ao tema**

Considerando a resolução espacial dos sensores, quer sejam ópticos quer sejam radares, e o próprio comportamento materno dos crocodilianos de recobrir os ninhos com terra e/ ou folhas mortas após a oviposição (THORBJARNARSON, 1989), não há possibilidade de identificar com precisão os ninhos e, menos ainda, de individualizar os ovos nas imagens de satélite.

O papel do sensoriamento remoto é ajudar na compreensão dos fatores ambientais que levam a determinado padrão biológico de seleção dos locais de ninho em uma área de interesse. De posse dessas informações, é possível ir além, estabelecendo mapas para inferência de habitats adequados à ocorrência de nidificação.

Ainda existe a necessidade de se estabelecer qual é a resolução espacial mais apropriada para um mapeamento fidedigno desses habitats de interesse.

### **2.3 Hipóteses conceituais**

Considerando os estudos revisados, a proposição que se admite é a escolha não aleatória dos locais de nidificação pelas fêmeas dos répteis. Supõe-se que a predileção por determinados locais possa ser explicada pela existência de variáveis ambientais (aspectos hidrológicos, de cobertura vegetal e características do relevo) capazes de manter as condições ideais para o sucesso na incubação, na eclosão dos ovos e no desenvolvimento dos filhotes. Em cada trabalho, conjectura-se que a(s) variável(is) considerada(s) esteja(m) em associação com a resposta adaptativa materna de selecionar locais apropriados para os ovos e futuros filhotes e/ou de proteger a cria em seus estágios mais vulneráveis.

## 2.4 Áreas de estudo

Os artigos revisados foram conduzidos em diferentes planícies de inundação do planeta: a dos rios Finnis, Reynold, McArthur (DUFFETT et al., 2000) e Adelaide (DUFFETT et al., 2000; HARVEY; HILL, 2003), bem como a área permanentemente inundada Melacca, adjacente ao rio Adelaide, todas na Austrália; a do rio Paraná, Argentina (LÓPEZ et al., 2013) e a dos rios Japurá, Solimões e Purus, Brasil (VILLAMARÍN et al., 2011).

## 2.5 Espécies de répteis e período de nidificação

Os estudos contemplados nesta revisão avaliaram as seguintes espécies de répteis: *Caiman crocodilus* (VILLAMARÍN et al., 2011), *Crocodylus porosus* (DUFFETT et al., 2000; HARVEY; HILL, 2003) e *Melanosuchus niger* (VILLAMARÍN et al., 2011), da Família *Alligatoridae*; e *Phrynops hilarii* (LÓPEZ et al., 2013), da Família *Cheloniidae*.

A nidificação dos crocodilianos *Melanosuchus niger* e *Caiman crocodilus* na planície amazônica ocorre na estação seca; a eclosão dos ovos, no início da estação chuvosa (VILLAMARÍN et al., 2011). Da mesma forma, a nidificação dos quelônios da espécie *Phrynops hilarii* na planície do rio Paraná na Argentina ocorre durante estação de seca; a eclosão, na cheia. De modo oposto, a nidificação da espécie *Crocodylus porosus* nas planícies do norte da Austrália ocorre na estação chuvosa (ISBERG et al., 2005; MAGNUSSON, 1980a).

## 2.6 Variáveis de estudo

Estudos prévios já haviam apontado certos fatores bióticos e abióticos nos habitats que poderiam contribuir no desenvolvimento com sucesso dos filhotes de crocodilianos (JENNINGS et al., 1987; MAGNUSSON et al., 1980b). Nesta revisão, procurou-se verificar se as variáveis ambientais sugeridas outrora haviam sido contempladas pelos autores dos artigos selecionados, e ainda, se novas teriam sido sugeridas. A tabela 2.1 demonstra um resumo de todas as variáveis contempladas por esta revisão.

### 2.6.1 Altura do ninho ou $V_1$

Denotada por  $V_1$  e definida como quantitativa contínua, essa variável mede a altura do ninho em relação ao nível máximo do corpo d'água mais próximo. A estimativa do valor dessa variável para um determinado ninho pôde ser obtida usando o modelo digital de elevação (MDE) como fonte de dados topográficos de uma área de estudo (DUFFETT et al., 2000; LÓPEZ et al., 2013). Os valores assumidos estavam contidos

no intervalo  $[0, 15]$  e foram medidos em metros. Somente o trabalho conduzido por López et al. (2013) analisou os valores assumidos por essa variável (Tabela 2.1). Os pesquisadores Duffett et al. (2000) utilizaram-na apenas como uma variável de entrada para selecionar a área de interesse antes do processamento de imagem.

### 2.6.2 Distância do ninho ao corpo d'água ou $V_2$

Denotada por  $V_2$  e definida como quantitativa contínua, essa variável mede a distância do ninho ao corpo d'água mais próximo em uma data específica. A estimativa do valor dessa variável para um determinado ninho pôde ser obtida a partir da mensuração, nas imagens de satélite, da menor distância em linha reta entre a posição geográfica de localização do ninho e o corpo d'água mais próximo (LÓPEZ et al., 2013). Os valores assumidos estavam contidos no intervalo  $[0, 400]$  e foram medidos em metros.

López et al. (2013) avaliaram efetivamente os valores assumidos por essa variável (Tabela 2.1). Os pesquisadores Duffett et al. (2000) e Harvey e Hill (2003) utilizaram-na apenas como uma variável de entrada para selecionar a área de interesse antes do processamento de imagem.

### 2.6.3 Uso e cobertura do solo ou $V_3$

Denotada por  $V_3$  e definida como qualitativa nominal, essa variável refere-se aos tipos de uso e cobertura do solo adjacente aos ninhos. Os pixels foram classificados em categorias de uso e cobertura do solo, que variavam de quatro (composição terrestre natural, campos agrícolas e ambientes antropogênicos) (LÓPEZ et al., 2013) a

Tabela 2.1 - Apresentação de variáveis de estudo quanto ao fato de terem sido consideradas (S) ou não (N) nas análises dos artigos revisados. O símbolo asterisco (\*) indica que a variável foi utilizada apenas no processamento de imagem – São José dos Campos – 2014

<b>Artigo</b>	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$
Duffett et al. (2000)	S	S*	N	N	S	N
Harvey e Hill (2003)	N	S*	S	N	N	N
Villamarín et al. (2011)	N	N	N	S	N	N
López et al. (2013)	S	S	S	N	N	N

seis (corpos d'água abertos, áreas inundadas abertas, áreas inundadas sob dosséis de árvores, manguezal, costas expostas, áreas abertas de ciperáceas ou prados) (HARVEY; HILL, 2003) diferentes tipos. As categorias foram estabelecidas com base na verdade terrestre do local em análise. Apenas os trabalhos conduzidos por Harvey e Hill (2003) e López et al. (2013) dedicaram-se ao estudo dessa variável (Tabela 2.1).

#### 2.6.4 Índice de estabilidade do corpo d'água (OWSI) ou $V_4$

Denotada por  $V_4$  e definida como quantitativa contínua, essa variável fornece um indicativo da flutuação hidrológica dos lagos, com base na relação entre as áreas ( $A$ ) de corpos d'água em dois diferentes períodos do ano: o de cheia (*high-water* HW) e o de seca (*low-water* LW). A estimativa do valor da variável para um determinado corpo d'água em imagens de satélite pôde ser obtida a partir da razão entre as suas áreas nos dois períodos mencionados (VILLAMARÍN et al., 2011):

$$OWSI = \frac{A_{LW}}{A_{HW}}. \quad (2.1)$$

Os valores assumidos pela variável estavam contidos no intervalo  $[0, 1]$  e eram adimensionais.

Essa variável foi mensurada apenas por Villamarín et al. (2011), que a estabeleceram de forma pioneira (Tabela 2.1).

#### 2.6.5 Adequabilidade de uma área ou $V_5$

Denotada por  $V_5$  e definida como quantitativa discreta, essa variável refere-se à frequência absoluta de ninhos por classe. A estimativa do valor da variável foi obtida contando o número de ninhos — previamente identificados a campo — por uma ampla variedade de classes de uso e cobertura do solo, sendo que cada uma delas foi obtida pela classificação não supervisionada dentro da área de interesse da imagem (DUFFETT et al., 2000). Os valores assumidos pela variável estavam contidos no intervalo  $[0, 350]$  e eram adimensionais. Apenas o estudo desenvolvido por Duffett et al. (2000) considerou de forma pioneira esta variável (Tabela 2.1).

#### 2.6.6 Porcentagem de sombra ou $V_6$

Denotada por  $V_6$  e definida como quantitativa contínua, essa variável fornece um indicativo da exposição dos ninhos e dos jovens filhotes à luz solar. Os valores assumidos pela variável deveriam estar contidos no intervalo  $[0, 1]$  e ser adimensionais. O

estudo dessa variável foi sugerido por Jennings et al. (1987). No entanto, nenhum dos trabalhos aqui mencionados dedicou-se à mensuração dessa variável (Tabela 2.1).

## 2.7 Dados hidrológicos

Os dados relacionados à hidrologia (e.g., temperatura, nível d'água e quantidade de precipitação) foram considerados apenas nos estudos conduzidos por Villamarín et al. (2011) e López et al. (2013). A aquisição desses dados foi feita quer seja por registros diários manuais ou automáticos das medidas quer seja por satélites que forneciam dados meteorológicos.

## 2.8 Análise por sensoriamento remoto

Nesta revisão, procurou-se avaliar quais as técnicas de sensoriamento remoto utilizadas nos estudos considerados. Verificou-se que todos trabalhos lançaram mão de imagens do sensor óptico TM (*Thematic Mapper*), que se encontrava acoplado à plataforma Landsat 5 (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Apresentação de técnicas de sensoriamento remoto quanto ao fato de terem sido consideradas (S) ou não (N) na metodologia dos artigos revisados. O traço (-) indica que não havia especificações detalhadas sobre origem dos dados – São José dos Campos – 2014

Artigos	Sensor óptico			Radar	Fotografias
	TM	SPOT XP	SPOT PAN	SRTM	aéreas
Duffett et al. (2000)	S	N	N	-	N
Harvey e Hill (2003)	S	S	S	N	S
Villamarín et al. (2011)	S	N	N	N	N
López et al. (2013)	S	N	N	S	N

O estudo conduzido por Duffett et al. (2000) não traz considerações detalhadas sobre as datas de aquisição das imagens TM. Os autores Harvey e Hill (2003) mencionam que a imagem TM foi obtida apenas na época da seca (27 de outubro de 1999). Os pesquisadores Villamarín et al. (2011) destacam que, para cada uma das duas sub-regiões avaliadas, foram coletadas imagens TM em épocas distintas, na cheia (24 de julho de 2007 e 29 de Agosto de 2008) e na seca (10 de setembro de 2007 e 19 de setembro de 1998). Os autores López et al. (2013) descrevem que foram avaliadas imagens TM de diferentes estações do ano: verão (13 de janeiro de 2010 e 20 janeiro de 2010), outono (10 de abril de 2010 e 5 de maio de 2010), inverno (16

de agosto de 2010 e 26 de setembro de 2010) e primavera (19 de outubro de 2010 e 13 de novembro de 2010).

Apenas a pesquisa conduzida por Harvey e Hill (2003) utilizou também imagens nos modos XP (multiespectral) e PAN (pancromático) do sensor óptico HRV (*High Resolution Visible*), que se encontrava a bordo da plataforma SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*). Não há menções no texto sobre a que geração de satélite SPOT (1, 2 ou 3) o sensor pertencia. Este estudo também não traz menções sobre a data de aquisição das imagens SPOT.

Somente o trabalho de Harvey e Hill (2003) valeu-se do uso de fotografias aéreas (escala 1: 15000), para o treinamento do classificador (Tabela 2.2).

Os autores Duffett et al. (2000) e López et al. (2013) mencionaram o uso do modelo digital de elevação (MDE) como fonte de dados topográficos da área de estudo. Entretanto, apenas López et al. (2013) especificaram que MDE originou-se de radares do *Shuttle Radar Topography Mission* (MDE SRTM) durante uma missão de 11 dias em fevereiro de 2000.

## 2.9 Métodos de processamento de imagem

A seguir, são apresentados os principais métodos empregados na obtenção dos valores das variáveis com base em imagens de satélite (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Apresentação de métodos de processamento de imagem quanto ao fato de terem sido considerados (S) ou não (N) na metodologia dos artigos revisados. O traço (-) indica que não havia especificações detalhadas sobre origem dos dados – São José dos Campos – 2014

Artigos	Classificação		Dilat.	Comb. classif.	Georref.	Razão bandas
	Superv.	N superv.				
Duffett et al. (2000)	N	S	S	N	N	N
Harvey e Hill (2003)	S	S	S	S	S	S
Villamarín et al. (2011)	N	S	N	N	N	N
López et al. (2013)	S	-	N	N	S	N

Vale ressaltar que, embora o termo dilatação (Tabela 2.3) não tenha sido explicitamente mencionado por Duffett et al. (2000) e Harvey e Hill (2003), as descrições apresentadas nos artigos vão ao encontro da operação de dilatação da área de Mor-

fologia Matemática. Ambos os autores, Duffett et al. (2000) e Harvey e Hill (2003), usaram em seus respectivos artigos a expressão “criação de um *buffer*”.

O estudo sob a autoria de Duffett et al. (2000) realizou os seguintes passos em processamento de imagem. Primeiro, por meio da operação de dilatação, criou-se uma zona de 1000 m ao redor das regiões com até 15 m de altura, limitando as áreas da imagem a serem posteriormente classificadas. Em seguida, utilizou-se o software ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*) na classificação não supervisionada dos pixels, a fim de identificar os corpos d’água permanentes contidos na faixa supracitada. Uma vez identificados, realizou-se uma segunda dilatação com vistas a criar uma zona de 300 metros ao redor dos corpos d’água, de forma a restringir a análise aos corpos d’água e às vegetações contíguas. Por fim, outra classificação não supervisionada foi realizada sobre a nova zona estabelecida. O limite máximo definido para o número de classes foi de 50. A localização dos ninhos foi superposta à classificação, gerando histogramas de frequência como função das classes.

O trabalho conduzido por Harvey e Hill (2003) aplicou as seguintes etapas em processamento de imagem em duas áreas distintas no norte da Austrália: a planície de inundação do rio Adelaide e a região permanentemente inundada de Melacca. Na primeira delas, inicialmente, as imagens de satélite do sensor Landsat 5 TM foram georreferenciadas utilizando mapas topográficos (escala 1: 50000). Em segundo lugar, os pixels foram classificados de forma não supervisionada por meio do software ISODATA. Com base na similaridade espectral e na relação espacial, as classes foram agrupadas e rotuladas em um dos seis tipos de uso e cobertura de solo pré-definidos (Seção 2.6.3). O mapa dos tipos de cobertura na área de estudo sofreu classificação supervisionada com o intuito de identificar os habitats adequados para a nidificação. Em terceiro lugar, para facilitar a distinção os corpos d’água nas imagens de satélite, realizou-se a técnica de razão de bandas (banda 5/ banda 2  $\times$  100). Usando limiares de referência, procedeu-se à classificação supervisionada cujo resultado foi um mapa dos corpos d’água permanentes. Em um estágio seguinte, empregou-se a operação de dilatação, criando uma zona de 200 m ao redor desses corpos d’água do mapa. Vale destacar que essa operação de dilatação foi aplicada com um enfoque diferente daquele observado em Duffett et al. (2000). Os pesquisadores Harvey e Hill (2003) pretendiam criar uma área de corpo d’água aumentada, de tal forma que esta nova superfície abrangesse toda a área adjacente aos corpos d’água com potencial para a ocorrência de ninhos do *C. porosus*. Por fim, os autores realizaram a combinação, por operação booleana, entre o mapa com os tipos de cobertura vegetal apropriados

para a nidificação e o mapa com as áreas expandidas dos corpos d'água. Assim, foi possível gerar um mapa de inferência dos habitats com potencial para a ocorrência de ninhos do *C. porosus* na região. Os dados coletados a campo acerca da localização dos ninhos foram superpostos ao mapa dos habitats adequados à nidificação, a fim de validá-lo.

Na segunda região, inicialmente, Harvey e Hill (2003) reproduziram os mesmos procedimentos de pré-processamento supracitados, porém utilizando imagens dos sensores Landsat 5 TM, SPOT XS e SPOT PAN. Vale ressaltar que os autores não lançaram mão de técnicas de processamento para a fusão das imagens ópticas. Em segundo lugar, realizou-se a classificação não supervisionada dos pixels a partir do software ERDAS (*Earth Resources Data Analysis System*) *Imagine*, a fim de delimitar os tipos de vegetação que poderiam ser classificados segundo a característica de adequabilidade do habitat à nidificação do *C. porosus*. Em terceiro lugar, imagens aéreas (escala 1: 15000) da região foram digitalizadas, georreferenciadas e sobrepostas como um mosaico para formar um mapa-base contínuo, no qual os limites entre os tipos de cobertura eram facilmente identificados. O mapa resultante foi então classificado de forma supervisionada em classes de adequabilidade, com base no uso dos tipos de cobertura de solo pelo *C. porosus* para a nidificação. Com o intuito de validar o mapa de inferência dos habitats adequados, foi definida uma amostra de cinco pontos e, sobre cada um deles, foram coletados dados sobre a verdade terrestre. Os dados de campo foram comparados com as classificações produzidas a partir das imagens de satélite e de fotografias aéreas, a fim de estimar a precisão com que os habitats foram mapeados por cada uma das fontes de dados.

O trabalho de Villamarín et al. (2011) seguiu alguns passos em processamento de imagem para definir a variável OWSI. Primeiramente, realizou-se a classificação não supervisionada dos pixels representativos dos corpos d'água abertos, usando o software IDRISI Kilimanjaro. Em seguida, após eliminação manual de eventuais canais de interligação entre os corpos d'água, foi feita a extração dos contornos dos corpos d'água abertos previamente individualizados. Por fim, realizou-se o registro das áreas dos corpos d'água abertos em duas épocas distintas do ano (seca e cheia) e a razão entre essas áreas.

Os pesquisadores López et al. (2013) realizaram algumas etapas em processamento de imagem para mensurar a variável uso e cobertura do solo. Primeiramente, as imagens de satélite foram georreferenciadas usando o programa IDRI SELVA. Em segundo lugar, um disco de raio igual a 100 m foi construído ao redor de de cada

ponto correspondente à localização geográfica do ninho e, em seguida, foi subdividido em células de 100 x 100 m (341 células). Em terceiro lugar, realizou-se a classificação supervisionada dos pixels por meio de interpretação visual. Cada classe foi rotulada em um dos quatro tipos de uso e cobertura de solo pré-definidos (Seção 2.6.3). A proporção de células ocupadas por cada uma das classes foi calculada. Por fim, para determinar se os habitats com presença de ninho eram aleatórios ou não, as porcentagens das diferentes classes ao redor do ninho foram comparadas com as de pontos coletados aleatoriamente (em quantidade equivalente a da amostra de ninhos) dentro de uma faixa com 50 m de largura sobre a área em que os ninhos foram encontrados. Ao descrever a metodologia para mensuração da variável distância do ninho em relação ao corpo d'água, os autores não fazem quaisquer menções sobre como os dados de localização dos ninhos foram acrescentados à imagem e qual foi o procedimento para identificação dos corpos d'água na imagem.

## 2.10 Principais resultados e observações

A seguir, são apresentados os principais resultados alcançados pelos artigos revisados, com atenção especial aos produtos finais do estudo (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Apresentação dos produtos finais e da validação em amostras distintas quanto à observação (S) ou não (N) nos artigos revisados – São José dos Campos – 2014

Artigos	Produto final		Validação
	Gráficos	Mapas	
Duffett et al. (2000)	S	S	N
Harvey e Hill (2003)	S	S	S
Villamarín et al. (2011)	S	N	
López et al. (2013)	S	N	

Os pesquisadores Duffett et al. (2000) geraram um mapa, indentificando os habitats adequados à nidificação do *C. porosus* nas planícies do norte da Austrália, com base na frequência de ninhos observados em cada uma das classes em estudo. Os resultados demonstraram que a efetividade do método passava pela inferência adequada dos corpos de água permanentes. Os autores descrevem a existência de alguns habitats com potencial para limitar ou favorecer a nidificação das fêmeas do *C. porosus*, mas que passam despercebidos nas imagens ópticas. A vegetação ao redor de rios cuja largura é inferior a 10 m (distância inferior à resolução espacial das imagens

Landsat 5 TM) não poderia ser individualizada; da mesma forma, a topografia em forma de degrau nas margens de rios, tais como a de rochedos baixos (com 1 metro de altura ou menos) onde a possibilidade de nidificação é quase nula; e, por fim, os troncos de árvores tombados cujas características e aspectos podem constituir locais favoráveis à nidificação.

Os pesquisadores Harvey e Hill (2003) geraram mapas identificando os habitats adequados à nidificação do *C. porosus* em duas áreas do norte da Austrália: a planície de inundação do rio Adelaide (escala 1: 10000 m) e a região permanentemente inundada de Melacca (escala 1: 800 m). Usando amostras distintas de treinamento e de teste, os autores verificaram que, na planície do rio Adelaide, a metodologia — desenvolvida com base na análise de variáveis ambientais (distância da água, tipo de cobertura vegetal) associadas à seleção dos locais de nidificação — foi capaz de identificar de forma satisfatória as áreas com maior probabilidade de ocorrência de ninhos de *C. porosus*. A similaridade espectral entre o manguezal e as áreas abertas de ciperáceas ou prados impediu a distinção entre esses tipos de cobertura de solo. Os autores sugerem estabelecer um método para diferenciar adequadamente esses tipos de cobertura de solo, a fim de melhorar a capacidade do sensoriamento remoto de distinguir entre habitats apropriados e inapropriados para a nidificação. Na área de Melacca, as imagens de satélite e as fotografias aéreas foram avaliadas quanto à precisão para identificar habitats apropriados à nidificação das fêmeas de *C. porosus*. A estimativa da precisão para cada imagem foi tomada com base na validação, usando amostras distintas de treinamento e de teste. A resolução espacial dos sensores ópticos mostrou-se aquém das expectativas para mapear de forma detalhada os ambientes altamente heterogêneos das áreas alagadas. As imagens do Landsat 5 TM e do SPOT XS foram capazes de mapear classes mais abrangentes de habitats selecionados para a nidificação. As imagens SPOT PAN com maior resolução espacial (10 m) não foram adequadas para mapear os habitats apropriados à nidificação de *C. porosus*, provavelmente pela menor resolução espectral. Apenas com as fotografias aéreas os habitats puderam ser realmente discernidos entre si. Certos tipos de cobertura de solo nas áreas permanentemente inundadas de Melacca não apresentam características espectrais distintas, favorecendo a ocorrência de erros classificatórios. Acredita-se que a dificuldade de distinção entre os tipos de cobertura nas imagens de satélite da região de Melacca deva-se ao efeito da variação hidrológica na resposta espectral. Os autores sugerem o uso de imagens adquiridas durante a seca para mapear os habitats de nidificação do *C. porosus*, pois o final da estação seca exerce grande influência sobre os locais de escolha das fêmeas para a nidificação.

Os pesquisadores Villamarín et al. (2011) restringiram-se à avaliação dos valores assumidos pela variável OWSI, gerando alguns gráficos. Verificou-se que a espécie de *M. niger* é susceptível à flutuação hidrológica dos corpos d'água (mensurada pela variável OWSI). As fêmeas selecionam corpos d'água com regimes mais estáveis, a fim de evitar que o ninho, construído próximo às suas margens, fique sujeito à inundação. Contrariamente, as fêmeas de *C. crocodilus* são pouco afetadas pela variação no nível d'água, pois costumam depositar seus ovos em locais afastados, geralmente dentro da floresta, onde a inundação não atinge. Os autores ressaltam que a resolução espacial do sensor Landsat 5 TM (30 m) e a porção óptica do espectro em que operam apresentam limitações. Destacam que o estudo restringiu-se aos corpos d'água abertos, pois as porções de água sob a cobertura vegetal, os canais estreitos e corpos de água cobertos em grandes proporções por macrófitas não poderiam ser detectados pelo sensor óptico. Os autores sugerem que, nesses casos, sejam utilizados sensores com maior resolução espacial, como os radares.

Os autores López et al. (2013) também limitaram-se à avaliação dos valores assumidos pelas variáveis altura do ninho, distância ao corpo d'água e tipo de cobertura de solo, gerando alguns gráficos. Esse estudo confirmou a importância das variáveis distância e altura dos ninhos em relação ao corpo d'água mais próximo, para a compreensão do padrão de nidificação das fêmeas de *P. hylarii*. Entretanto, ressaltam que os resultados de altura devem ser tomados com cautela, já que discutem diferenças de até 3 m, enquanto o erro de resolução espacial nos dados topográficos de radares do SRTM é da ordem de 5,5 m. Os autores confirmaram que o habitat selecionado pelas fêmeas para a nidificação é proporcionalmente distinto de outro escolhido aleatoriamente, apresentando altas proporções de áreas alagadas, gramíneas e florestas.



### 3 Considerações gerais

A seguir, são feitas considerações sobre a inter-relação entre as variáveis de estudo e a biologia dos répteis, em especial dos crocodilianos; o estado da arte no uso do sensoriamento remoto para a inferência de habitats com potencial para abrigar ninhos de crocodilianos; e, por fim, a questão da resolução espacial na avaliação desses habitats.

#### 3.1 Aspectos biológicos e variáveis de estudo

Nos artigos revisados, observa-se que, de forma geral, as variáveis exploradas estão em associação direta com a resposta adaptativa das fêmeas reptilianas de selecionar locais apropriados para a cria e/ou de protegê-la nos estágios de vida mais vulneráveis.

A variável intitulada altura do ninho reflete a resposta adaptativa da fêmea de selecionar locais apropriados para depositar seus ovos. Os ninhos construídos em áreas sobrelevadas, ou seja, acima do nível d'água durante a cheia, têm menor probabilidade de sofrer inundação (SHINE; BROWN, 2008; THORBJARNARSON, 1989). Essa é uma variável de importância que deve ser considerada, especialmente em espécies de crocodilianos cuja nidificação ocorre na época da seca. Nesses animais, o comportamento materno induz a fêmea a depositar seus ovos em locais seguros, ou seja, com baixo risco de inundação, tendo em vista que a eclosão deve acontecer quando as áreas adjacentes aos corpos d'água começam a inundar e a disponibilidade de alimentos é maior (THORBJARNARSON, 1989).

Embora Villamarín et al. (2011) não tenham considerado a variável altura do ninho — como fizeram López et al. (2013) —, para avaliar espécies de crocodilianos que nidificam na seca, esses autores teceram vários comentários sobre a predileção das fêmeas por locais com baixo risco de inundação. Os pesquisadores Duffett et al. (2000), que avaliaram uma espécie de crocodiliano cuja nidificação ocorre na cheia, também consideraram a variável altura do ninho, mas de uma forma distinta. A variável foi utilizada para se estabelecer um limiar de altura, acima do qual a probabilidade de ocorrência de ninhos seria quase nula. Selecionando as áreas da imagem com altura inferior a 15 m, os autores puderam delimitar as regiões onde as análises deveriam ser concentradas.

A variável denominada distância do ninho ao corpo d'água expressa a resposta adaptativa da fêmea de conferir proteção à cria nos estágios mais vulneráveis. A existência

de um corpo d'água nas proximidades garante que, durante a incubação, as fêmeas permaneçam adjacentes ao ninho, protegendo os ovos de predadores (THORBJARNARSON, 1989). Além disso, após a eclosão dos filhotes, a fêmea precisa ajudá-los a emergir do ninho e a chegar ao corpo d'água mais próximo (THORBJARNARSON, 1989).

Essa é outra variável de importância que precisa ser considerada, o que foi feito pela maioria dos trabalhos revisados — ainda que Duffett et al. (2000) e Harvey e Hill (2003) tenham-na considerado apenas para o processamento de imagem.

Provavelmente, Villamarín et al. (2011) não a analisaram em razão do comportamento das fêmeas de *C. crocodilus* de depositar seus ovos longe das margens dos corpos d'água, geralmente dentro da floresta. Diferindo das demais, essas fêmeas independem de corpos d'água para manterem-se próximas aos ninhos e guardá-los: elas conseguem esconder-se sob folhas mortas amontoadas (DA SILVEIRA et al., 2010). Vale ressaltar que esse comportamento também é uma resposta adaptativa de proteção dos ovos, já que quanto mais longe das margens dos corpos d'água, menor a chance de o ninho sofrer inundação.

A variável designada uso e cobertura de solo representa a resposta adaptativa das fêmeas de selecionar habitats apropriados à cria nos estágios mais vulneráveis. Isto inclui os futuros filhotes, porque, após a eclosão, eles costumam permanecer próximos ao ninho e sob os cuidados maternos (SOMAWEERA et al., 2011). A vegetação desse habitat é particularmente importante para os jovens crocodilianos, pois ela deve prover biomassa de insetos (fonte de alimento), ser proteção contra a exposição térmica excessiva e funcionar como esconderijo, diminuindo a vulnerabilidade à predação (SOMAWEERA et al., 2011). O tipo de vegetação também é importante para fornecer o material adequado à construção dos ninhos (MAGNUSSON, 1980a), a temperatura ideal de incubação (GALLEGOS et al., 2008; SHINE; BROWN, 2008) e a proteção contra a predação e dessecação dos ovos (SHINE; BROWN, 2008).

Outra variável de importância, o uso e cobertura de solo merece ser avaliado nesses tipos de estudo. Embora Villamarín et al. (2011) e Duffett et al. (2000) não tenham considerado a vegetação propriamente dita em suas análises, ainda assim, eles precisaram identificar com êxito os corpos d'água permanente (um tipo de classe de uso e cobertura de solo) para determinar o valor das novas variáveis que estavam propondo.

A variável proposta por Duffett et al. (2000), aqui designada adequabilidade de

uma área, é uma forma original de analisar o problema, com a vantagem de ser uma alternativa simples e de fácil execução para se obter mapas que identifiquem habitats adequados à nidificação. Vale destacar que para a obtenção dessa variável, outras duas, consideradas de relevância, precisaram ser observadas durante o processamento de imagem: a distância e a altura do ninho em relação ao corpo d'água mais próximo.

A variável OWSI estabelecida por Villamarín et al. (2011) é também uma abordagem inédita e inusitada de analisar a resposta adaptativa das fêmeas de selecionar locais apropriados para depositar seus ovos. A variável guarda implicitamente a ideia de altura e distância do ninho ao corpo d'água, já que está fortemente relacionada ao comportamento das fêmeas de proteger os ovos da inundação durante a cheia.

A variável porcentagem de sombra, aqui mencionada, representa a resposta adaptativa das fêmeas de selecionar habitats apropriados ao desenvolvimento da cria nas fases mais vulneráveis. A luz solar tem impactos importantes sobre os ovos e os filhotes recém-eclodidos. Em relação aos ovos, ainda que a fêmea recubra o ninho com terra e/ou folhas mortas (THORBJARNARSON, 1989), a luz solar direta pode levar ao dessecamento, isto é, perda de umidade, dos ovos. Além disso, a incubação dos filhotes é profundamente afetada por flutuações mínimas na temperatura (SHINE; BROWN, 2008). Quanto aos filhotes recém-eclodidos, como todos os répteis, os crocodilianos são ectotérmicos, o que significa que eles dependem do habitat para manter a temperatura corpórea dentro de limites metabólicos aceitáveis (THORBJARNARSON, 1992). Por isso, nas horas quentes do dia, os jovens crocodilianos também precisam assumir o comportamento de procurar sombras (THORBJARNARSON, 1992).

A justificativa para que nenhum dos trabalhos tenha considerado a porcentagem de sombra, ainda que seja uma variável interessante, pode residir no fato de que ela está fortemente ligada ao tipo de vegetação do habitat, e, portanto, pôde ser avaliada indiretamente por meio de outra variável, o uso e cobertura de solo. Uma forma de se inferir sobre a porcentagem de sombra seria com base em informações acerca de atributos florestais, como estrutura do dossel, que podem ser obtidas, por exemplo, a partir de dados polarimétricos na banda C de radares SAR (FURTADO et al., 2014)

### **3.2 Sensoriamento remoto**

As fêmeas de crocodilianos têm predileção por nidificar em regiões de várzeas, que se caracterizam pela heterogeneidade espacial e temporal da paisagem (PAINTER et al., 2008). Em geral, os locais de nidificação são afastados e de difícil acesso (MAGNUSSON et al., 1980b), o que restringe o uso de técnicas de pesquisa a campo para

avaliar efetivamente tais habitats.

No final da década de 70, despontaram na literatura pesquisas utilizando fotografias aéreas para contornar o problema da acessibilidade aos locais de nidificação (MAGNUSSON *et al.*, 1978; MAGNUSSON *et al.*, 1980b). Embora não se possa afirmar que tais imagens representassem um modo de sensoriamento remoto propriamente dito, uma vez que não foram tomadas de forma sistemática, é possível considerá-las como um dos primeiros registros fotográficos para documentação das características ambientais de habitats relacionados à nidificação de crocodilianos.

O uso de sensoriamento remoto nessa área começou a aparecer em meados da década de 80, com trabalhos dedicados a mapear os habitats de crocodilianos em geral (WATANABE; CHU-CHIEN, 1984; ZHUJIAN *et al.*, 1986). Desde o início de sua aplicação com este fim, o sensoriamento remoto mostrou-se como uma alternativa viável e custo-efetiva.

Ao longo dos anos, inúmeros avanços tecnológicos ocorreram nessa área do conhecimento, em especial com o desenvolvimento dos radares imageadores. Entretanto, esta revisão demonstrou que o uso de radares foi muito pouco explorado em aplicações cujo enfoque fosse a inferência de habitats com potencial para a ocorrência de ninhos de répteis. Verificou-se o uso de radares apenas como fonte de dados topográficos de uma determinada área de estudo (MDE SRTM). A totalidade dos trabalhos lançou mão da tecnologia do sensor óptico TM.

Sabe-se que as imagens desse sensor são fortemente indicadas para se extrair dados sobre a vegetação (e.g., integridade e desflorestamento) e sobre os tipos de água (águas brancas, águas claras ou águas pretas) em uma área de estudo. Entretanto, tais sensores apresentam limitações bem conhecidas para imagear regiões tropicais, uma vez que nessas áreas do planeta a cobertura de nuvens é expressiva e praticamente constante (EVANS *et al.*, 2010).

Mais versátil que o sensor óptico, o radar de abertura sintética (SAR) garante relativa independência das condições de iluminação e atmosféricas (KASISCHKE *et al.*, 1997). Operando na faixa das micro-ondas, o SAR permite não só a aquisição de dados em condições atmosféricas adversas (e.g., cobertura de nuvens), mas também o mapeamento de áreas inundadas sob os dosséis das árvores (KASISCHKE *et al.*, 1997).

Além de oferecer informações precisas sobre a configuração espacial da paisagem e a distribuição da vegetação, o SAR também traz conhecimentos sobre os processos

ecohidrológicos que determinam essa distribuição (FERREIRA-FERREIRA et al., 2013). Os sistemas SAR são capazes de mapear tanto a distribuição da vegetação quanto a extensão da inundação, e a combinação de ambos à abordagem multitemporal oferece um entendimento ímpar acerca do funcionamento dos ecossistemas alagáveis (FERREIRA-FERREIRA et al., 2013).

O mapeamento topográfico por interferometria SAR é outro uso importante de radares, pois permite a obtenção de informações tridimensionais precisas de uma determinada área em estudo. Os dados interferométricos SAR são muito úteis em estudos hidrológicos nas bacias de drenagem, assim como para análises de uso e cobertura de solo (JENSEN, 2009). Na aplicação aqui considerada, pode-se dizer que o mapeamento topográfico por interferometria desempenha um papel significativo, dada a relevância da variável altura do ninho para a inferência de habitats apropriados à nidificação de crocodilianos (Seção 3.1).

### **3.3 Resolução espacial**

A resolução espacial das imagens de satélite ainda é um gargalo em estudos relacionados ao tema. Como mencionado na seção 2.2, o uso do sensoriamento neste tipo de proposta não tem quaisquer pretensões de identificar os ninhos de crocodilianos nas imagens, mas antes, tem por objetivo avaliar as características ambientais de habitats apropriados para a nidificação das fêmeas.

Para tal, no entanto, faz-se necessário conhecer qual a resolução espacial ótima das imagens que permitiria um mapeamento preciso dos habitats com potencial para a ocorrência de ninhos. No entanto, essa ainda é uma informação que permanece desconhecida na literatura. Todos os estudos revisados trabalharam com imagens TM cuja resolução espacial é de 30 m. A maior limitação observada pelos autores foi a incapacidade de distinguir os contornos de duas áreas distintas, porém contíguas, separadas por uma distância inferior a 30 m.

Acredita-se que uma integração de dados de multiresolução poderia ser útil em aplicações voltadas a esse tema de estudo. Inicialmente, com base em dados de maior resolução espacial, seria possível localizar sobre a área de estudo pontos com potencial para a ocorrência de ninhos de crocodilianos. Em um segundo momento, poder-se-ia coletar dados de melhor resolução espacial apenas dos pontos previamente identificados, a fim de se extrair informações mais detalhadas dessas regiões. Diante do exposto, considera-se que a combinação entre os dados de sensores ópticos e de alta resolução (e.g., sensores a bordo dos satélites QuickBird, WorldView-2, GeoEye-1 e

RapidEye) poderia trazer importantes contribuições científicas para a identificação e compreensão de habitats relacionados à ocorrência de ninhos de crocodilianos.

## 4 Conclusões gerais

As medidas em prol da população de crocodilianos serão efetivas à medida que protegerem os habitats selecionados pelos estágios de vida mais vulneráveis. Em razão do comportamento das fêmeas de proteger a sua cria, deve-se dar uma atenção especial aos habitats relacionados à nidificação. A inferência de locais apropriados a este fim passa pela mensuração de variáveis que, de alguma forma, expressam a resposta adaptativa das fêmeas de proteger seus filhotes no período em que estão mais susceptíveis às intempéries, ameaças e agruras do meio ambiente. No conjunto de possíveis variáveis, a altura, a distância do ninho em relação ao corpo d'água e o tipo de uso e cobertura do solo são as que mais se destacam, porque refletem as condições básicas ideais de um habitat para o sucesso consecutivo na incubação, na eclosão e no desenvolvimento dos filhotes. As variáveis, aqui designadas, adequabilidade de uma área e OWSI são propostas originais e de fácil execução que guardam implicitamente a noção das variáveis previamente mencionadas: altura e distância do ninho em relação ao corpo d'água.

As fêmeas dos crocodilianos têm predileção por nidificar em locais afastados e de difícil acesso, o que limita o uso de pesquisa a campo como único meio de obtenção de dados. Nesse aspecto, o sensoriamento remoto surge como uma alternativa eficaz e de baixo custo para o levantamento de dados em habitats adequados à nidificação. Todos os trabalhos encontrados nessa área do conhecimento restringiram-se ao uso de sensores ópticos para obtenção de dados da região em estudo. Embora o uso de sensores ópticos seja adequado a esse tipo de aplicação, inúmeras limitações inerentes a essa tecnologia, por vezes, impedem uma avaliação mais detalhada de determinados locais, especialmente em áreas alagadas sob os dosséis de árvores. O uso da tecnologia de radares SAR, associada aos sensores ópticos, poderia trazer importantes contribuições científicas para a identificação e compreensão de habitats relacionados à ocorrência de ninhos de crocodilianos. A resolução espacial ideal a ser utilizada em aplicações com este fim é uma questão cuja resposta ainda permanece desconhecida. Acredita-se que uma combinação entre sensores ópticos e de alta resolução espacial poderia auxiliar na identificação e no detalhamento de áreas com potencial para a ocorrência de ninhos de crocodilianos, além de permitir a geração de mapas mais fidedignos e precisos desses locais.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Britannica Escola Online. fotografia, **Expedições na Amazônia**. 2014. Disponível em: <<http://escola.britannica.com.br/assembly/178716/0-naturalista-ingles-Henry-Walter-Bates-comecou-a-explorar-a>>. Acesso em: 21 maio 2014. 2
- BRITTON, A. fotografia, **The safest place on Earth**. 2014. Disponível em: <<http://crocodilian.com/cnhc/potm-mar99.html>>. Acesso em: 30 maio 2014. 4
- BUENO, E. Brasil amazônico. In: SOTO, P. (Ed.). **Brasil: uma História. Cinco séculos de um país em construção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Leya, 2012. p. 168–179. 2
- CAMPBELL, H. A.; DWYER, R. G.; IRWIN, T. R.; FRANKLIN, C. E. Home range utilisation and long-range movement of estuarine crocodiles during the breeding and nesting season. **PLoS One**, v. 8, n. 5, p. e62127, 2013. 1, 3
- DA SILVEIRA, R.; RAMALHO, E. E.; THORBJARNARSON, J. B.; MAGNUSSON, W. E. Depredation by jaguars on caimans and importance of reptiles in the diet of jaguar. **Journal of Herpetology**, v. 44, n. 3, p. 418–424, 2010. 18
- 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. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 17, 18
- EVANS, T. L.; COSTA, M. P. F.; TELMER, K.; SILVA, T. S. F. Using alos/palsar and radarsat-2 to map land cover and seasonal inundation in the brazilian pantanal. **IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing**, v. 3, n. 4, p. 560–575, 2010. 20
- FERREIRA-FERREIRA, J.; SILVA, T. S. F.; STREHER, A. S.; AFFONSO, A. G.; FURTADO, L. F. d. A.; FORSBERG, B. R.; VALSECCHI, J.; QUEIROZ, H. L.; NOVO, E. M. L. d. M. Combining alos/palsar derived vegetation structure and inundation patterns to characterize major vegetation types in the mamirauá sustainable development reserve, central amazon floodplain, brazil. **Wetlands Ecology and Management**, -, p. -, 2013. Artigo aceito para publicação. 21

FURTADO, L. F. d. A.; SILVA, T. S. F.; NOVO, E. M. L. d. M. **Dados polarimétricos de banda C para o mapeamento e modelagem da estrutura da vegetação na várzea amazônica - Lago Grande de Curuai, PA.** 160 p. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014. 19

GALLEGOS, A.; PLUMMER, T.; UMINSKY, D.; VEGA, C.; WICKMAN, C.; ZAWOISKI, M. A mathematical model of a crocodylian population using delay-differential equations. **Journal Mathematical Biology**, v. 57, n. 5, p. 737–754, 2008. 2, 3, 18

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. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18

ISBERG, S. R.; THOMSON, P. C.; NICHOLAS, F. W.; BARKER, S. G.; MORAN, C. Quantitative analysis of production traits in saltwater crocodiles (*Crocodylus porosus*): I. reproduction traits. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 122, n. 6, p. 361–369, 2005. 6

JENNINGS, M. L.; PERCIVAL, H. F.; ABERCROMBIE, C. L. Habitat variables affecting nesting success of the american alligator in florida. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE SOUTHEASTERN ASSOCIATION OF FISH AND WILDLIFE AGENCIES, 4 a 7 de outubro de 1987, Mobile, AL, EUA. **Proceedings...** [S.l.], 1987. v. 41, p. 334–342. 6, 9

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto por micro-ondas ativas e passivas. In: VIEIRA, A. d. S. (Ed.). **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** 1. ed. São José dos Campos: Parênteses, 2009. p. 293–336. 21

JUNK, W. J.; SILVA, V. M. F. d. Mammals, reptiles and amphibians. In: JUNK, W. J. (Ed.). **The central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system.** Berlin: Springer, 1997. v. 126, p. 409–418. 3

KASISCHKE, E. S.; MELACK, J. M.; DOBSON, M. C. The use of imaging radars for ecological applications: a review. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 141–156, 1997. 20

LANCE, V. A. Alligator physiology and life history: the importance of temperature. **Experimental Gerontology**, v. 38, p. 801–805, 2003. 3

LÓPEZ, M. S.; SIONE, W.; LEYNAUD, G. C.; PRIETO, Y. A.; MANZANO, A. S. How far from water? terrestrial dispersal and nesting sites of the freshwater turtle *phrynops hilarii* in the floodplain of the paraná river (argentina). **Zoological Science**, v. 30, n. 12, p. 1063–1069, 2013. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 17

MAGNUSSON, W. E. Habitat required for nesting by *crocodylus porosus* (reptilia: Crocodylidae) in northern australia. **Australian Wildlife Research**, v. 7, n. 1, p. 149–156, 1980a. 3, 6, 18

MAGNUSSON, W. E.; GRIGG, G. C.; TAYLOR, J. A. An aerial survey of potential nesting areas of the saltwater crocodile, *crocodylus porosus schneider*, on the north coast of arnhem land, northern australia. **Australian Wildlife Research**, v. 5, p. 401–415, 1978. 3, 20

\_\_\_\_\_. An aerial survey of potential nesting areas of *crocodylus porosus* on the west coast of cape york peninsula. **Australian Wildlife Research**, v. 7, n. 3, p. 465–478, 1980b. 2, 3, 6, 19, 20

MARIONI, B. **Efeito de perturbações antrópicas sobre a estrutura florística e funcionamento das florestas de várzea e seu impacto sobre os ecossistemas aquáticos da calha central do Solimões-Amazonas**. Manaus: [s.n.], 2013. 59 p. 1

PAINTER, M.; ALVES, A. R.; BERTSCH, C.; BODMER, R.; CASTILLO, O.; CHICCHÓN, A.; DAZA, F.; MARQUES, F.; NOSS, A.; PAINTER, L.; DEUS, C. P. d.; PUERTAS, P.; QUEIROZ, H. L. d.; SUÁREZ, E.; VARESE, M.; VENTICINQUE, E. M.; WALLACE, R. (Ed.). **Landscape Conservation in the Amazon Region: Progress and Lessons**. Bozeman: Wildlife Conservation Society, 2008. 72 p. (WCS Working Paper, v. 34). 3, 19

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. 2, 3, 17, 18, 19

SOMAWEERA, R.; WEBB, J. K.; SHINE, R. Determinants of habitat selection by hatchling australian freshwater crocodiles. **PLoS One**, v. 6, n. 12, p. e28533, 2011. 1, 3, 18

THORBJARNARSON, J. **Crocodiles: an action plan for their conservation**. 1. ed. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 1992. 137 p. 1, 3, 19

THORBJARNARSON, J. B. Ecology of the american crocodile, *Crocodylus acutus*. In: **Crocodiles: their ecology, management, and conservation**. 1. ed. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 1989. p. 228–258. 3, 5, 17, 18, 19

VERDADE, L. M. A exploração da fauna silvestre no brasil: jacarés, sistemas e recursos humanos. **Biota Neotropica**, v. 4, n. 2, p. 1–12, 2004. 1

VILLAMARÍN, F.; MARIONI, B.; THORBJARNARSON, J. B.; NELSON, B. W.; ARIAS, R. B.; MAGNUSSON, W. E. 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. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 17, 18, 19

WATANABE, M. E.; CHU-CHIEN, H. Landsat remote sensing imagery as a tool in defining the environment of the chinese alligator, *alligator sinensis*. In: WORKING MEETING OF THE CROCODILE SPECIALIST GROUP OF THE SPECIES SURVIVAL COMMISSION OF THE INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES, 6., 19 a 30 setembro de 1982, Estuário de Santa Lúcia, África do Sul. **Proceedings...** Gland, Suíça: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 1984. p. 216–219. 20

ZHUJIAN, H.; HENGZHANG, L.; SHENGKAI, Z. Analysis of the landsat remote sensing images of the types of habitats of yangtze alligators. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, v. 4, n. 4, p. 360–371, 1986. 20