

Utilização de Sistemas de Informações Geográficas, *softwares* e algoritmos de modelagem para geração de modelos de distribuição geográfica potencial de espécies de macrófitas aquáticas em bacias hidrográficas.

Leonardo Farage Cancian¹ & Antonio Fernando Monteiro Camargo²

¹Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas/Biologia Vegetal (UNESP- Rio Claro). Laboratório de Ecologia Aquática (lfcancian@yahoo.com.br).

²Universidade Estadual Paulista (UNESP-Rio Claro), Departamento de Ecologia, Laboratório de Ecologia Aquática (afmc@rc.unesp.br).

As macrófitas aquáticas são vegetais amplamente distribuídos em diversos ecossistemas do planeta. Nos ambientes em que ocorrem apresentam muitas vezes grande importância pois exercem papel fundamental na ciclagem de nutrientes e na produtividade primária (Bianchini Jr. *et al.*, 2002; Thomaz & Cunha, 2010). Também contribuem para maior diversidade de espécies animais e grande quantidade de nichos ecológicos uma vez que podem servir tanto de abrigo quanto fonte de alimentação para grande variedade de organismos.

As macrófitas aquáticas têm a capacidade de colonizar ambientes com características muito diferentes como rios, lagos, reservatórios, ambientes marinhos, etc. Essa capacidade de colonização se deve às estratégias adaptativas desenvolvidas ao longo do tempo, que permitiram o desenvolvimento desses vegetais nesses ambientes (Thomaz & Cunha, 2010). Em vista disso, a realização de estudos que forneçam informações a respeito da distribuição destes vegetais é crucial para o estudo dos ecossistemas. Além disso, compreender os mecanismos que atuam nesta distribuição espacial pode servir como ferramenta em ações de monitoramento e controle das macrófitas aquáticas, pois a proliferação indesejada destes vegetais,

acarreta em prejuízos às atividades de recreação, a navegação e geração de energia elétrica (Mitchell *et al.*, 1980).

A modelagem de distribuição geográfica potencial de espécies é uma técnica relativamente recente e que tem se tornado uma ferramenta amplamente utilizada em estudos ecológicos e programas de conservação de espécies (Peterson *et al.*, 2007). Muitas vezes os protocolos de modelagem envolvem a utilização de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), softwares e algoritmos de modelagem.

SIGs são softwares que permitem além do armazenamento, o processamento e gerenciamento de dados espacializados e de processos e fenômenos que ocorrem no espaço. Tais dados e processos podem ser utilizados de diversas maneiras através de consultas, visualização e análises, gerando produtos como tabelas e gráficos, assim como mapas e outros produtos (Becker, 2002) O SIG oferece ao usuário um grande número de recursos possibilitando a criação de bancos de dados digitais, que é composto basicamente por funções de gerenciamento, tratamento de imagens digitais, análises estatísticas além de possuir compatibilidade com ferramentas de sensoriamento remoto e de sistema de posicionamento global (GPS). Nos bancos de dados é possível armazenar uma grande quantidade de informações a respeito de determinada área geográfica, de uma determinada espécie ou processo de interesse (Remillard & Welch, 1992). Além disso, possibilita a criação de modelos de distribuição potencial de espécies quando utilizado em conjunto com algoritmos e softwares de modelagem. A Figura 1 resume as etapas da modelagem da distribuição potencial das espécies.

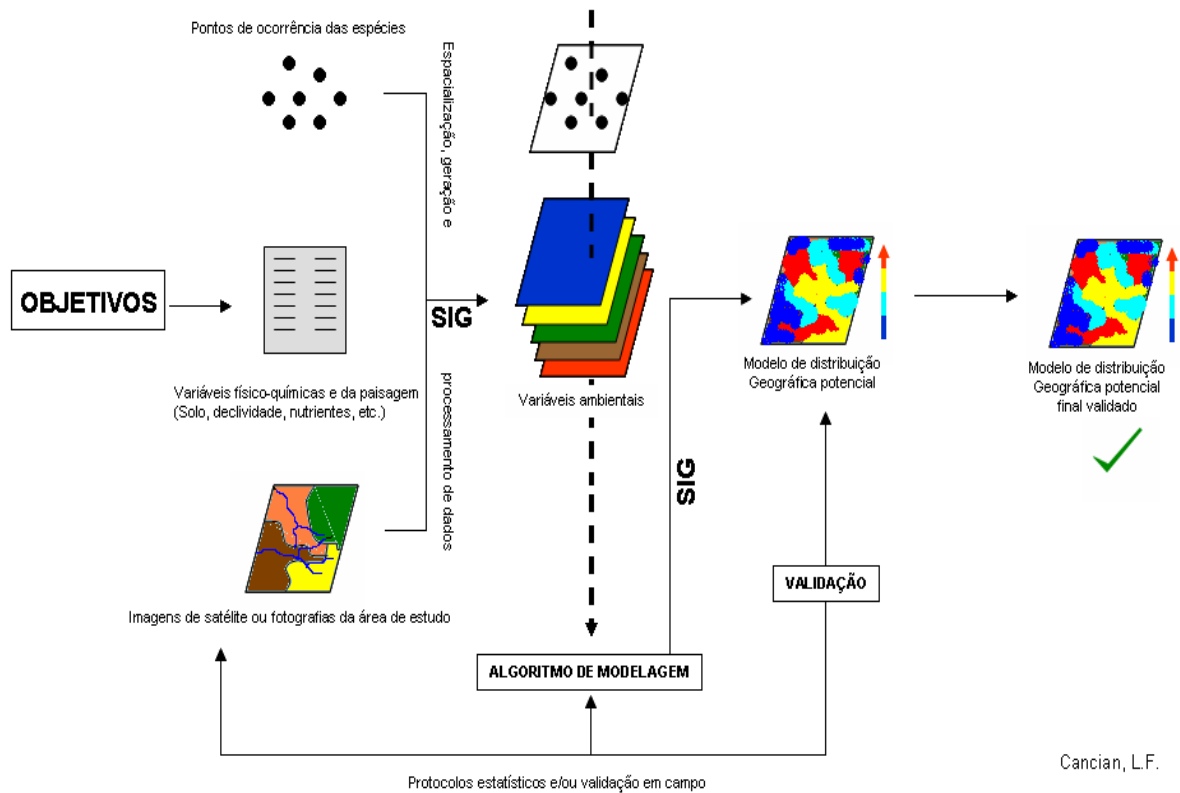


Figura 1. Esquema resumido das etapas de modelagem de distribuição potencial de espécies.

Dentre os modelos ecológicos, os modelos preditivos têm sido frequentemente utilizados em trabalhos que avaliam a distribuição de espécies. Esses modelos apresentam diferenças em relação aos modelos matemáticos pelo fato de não se basearem apenas em cálculos. Os modelos preditivos também diferem dos modelos explanatórios que visam o reconhecimento de padrões, pelo fato de oferecerem ao operador relações estatísticas entre as variáveis preditoras e resposta. Sendo assim, através do uso destes modelos é possível prever quais variáveis estão relacionadas à distribuição e abundância de espécies e ainda fazer previsões em relação à alteração das variáveis ambientais (Ferraz, 2004).

Para a elaboração de modelos preditivos podem ser utilizados diferentes algoritmos, sendo os mais comuns a regressão logística (LM), os modelos aditivos generalizados (GAM) (Lehmann, 1998), modelos lineares generalizados (GLM) (Sánchez-Flores, 2007), as redes neurais artificiais e os algoritmos genéticos (GA) sendo os dois últimos, métodos alternativos em relação aos modelos tradicionais (Ferraz, 2004).

Além dos métodos mencionados acima, softwares específicos para modelagem de distribuição potencial de espécies têm sido amplamente utilizados, principalmente para espécies animais. Dentre esses softwares, podemos citar, por exemplo, o MAXENT, *software* de modelagem que opera com o algoritmo de mesmo nome, e o *software* OpenModeller que opera com diversos algoritmos de modelagem como Bioclim, Suported Vector Machines (SVM), e o Algoritmo Genético para Regras de Predição (GARP).

MAXENT é um algoritmo de modelagem baseado na máxima entropia, ou seja, que busca encontrar a distribuição mais próxima da distribuição uniforme baseado nas restrições que as variáveis disponíveis relacionadas à observação de uma espécie e as condições ambientais de determinada área geográfica oferecem ao modelo. Como resultado da modelagem o MAXENT atribui um valor de adequabilidade ambiental para a espécie. O algoritmo MAXENT tem sido amplamente utilizado em modelagem de distribuição de espécies por apresentar resultados extremamente robustos quando comparado a outros algoritmos de modelagem, mesmo quando utilizado com um número reduzido de dados de ocorrência da(s) espécie(s) estudada(s).

Devido à complexidade do habitat das espécies, entender como os organismos atuam na paisagem exige a abordagem em escalas e níveis hierárquicos diferentes.

Thomaz & Cunha (2010) demonstraram que a adoção de diferentes escalas hierárquicas devem ser utilizadas de acordo com o objetivo do estudo a ser realizado.

Nas últimas décadas têm sido desenvolvidos estudos que avaliaram a relação entre a distribuição espacial das espécies de macrófitas aquáticas e determinadas variáveis ambientais ou associação de variáveis que influenciam esta distribuição (Barendregt & Bio, 2003; Heegaard *et al.*, 2001). Verificou-se que uma série de variáveis como, por exemplo, características hidrológicas, tipo de sedimento e a concentração de nutrientes apresentam uma forte relação com a distribuição espacial desses vegetais.

As variáveis ambientais são, portanto classificadas em diferentes escalas na paisagem (Figura 2). As três principais escalas utilizadas em estudos de distribuição espacial de macrófitas são: escala regional, a escala local, e as condições pontuais onde ocorrem os bancos de macrófitas aquáticas (Barendregt & Bio, 2003).

A escala regional reflete características do ecossistema, como o tipo de solo, a geologia, hidrologia, a morfologia dos rios e determinadas características químicas da água.

A escala local é caracterizada pela quantidade de nutrientes nos rios, turbidez e alcalinidade da água e características locais dos rios como a morfologia do canal e velocidade de corrente. Além disso, na escala local podem ser incluídas as alterações antrópicas como a descarga de esgotos nos corpos d'água que acarretam maior concentração de nutrientes na água.

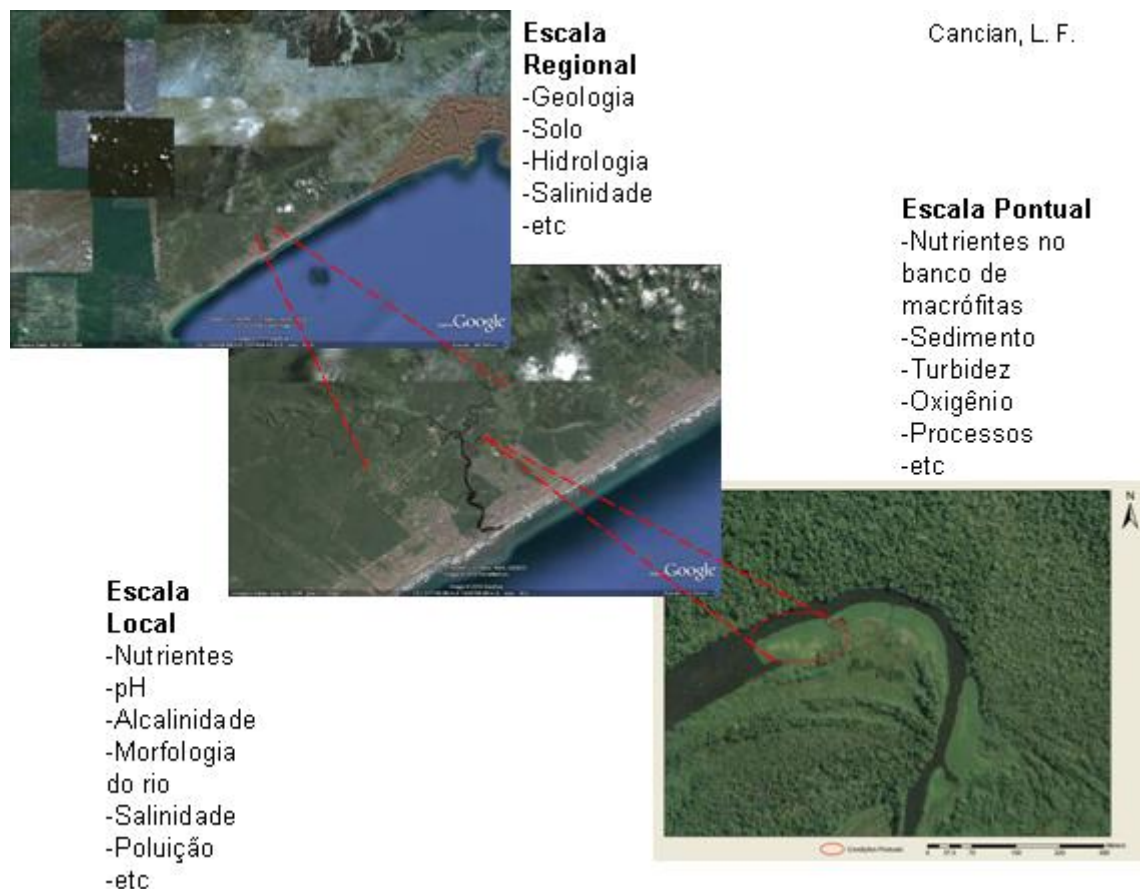


Figura 2. Exemplo de escala regional, local e pontual e algumas de suas respectivas variáveis.

As condições pontuais retratam as características físicas e químicas do banco de macrófitas que afetam seu crescimento e distribuição. Nesta escala inclui-se, por exemplo, a concentração de nutrientes e de oxigênio dissolvido, A intensidade luminosa e o valor de pH da água no banco de macrófitas. Barendregt & Bio (2003) ressaltam que nas condições pontuais se incluem crescimento algal, competição entre espécies e referentes à presença de fauna predadora de macrófitas aquáticas, uma vez que a presença desses fatores pode influenciar na dinâmica do banco desses vegetais.

Estudos de distribuição de macrófitas aquáticas utilizando o sistema de informação geográfica (SIG) são relativamente recentes. O uso desta tecnologia em estudos de monitoramento de macrófitas e de distribuição desses vegetais surgiu na literatura com mais intensidade a partir do final da década de 70 (Remillard & Welch, 1993). Ao longo do tempo os SIGs têm se tornado uma ferramenta de grande importância no monitoramento da distribuição de macrófitas aquáticas e no manejo das comunidades desses vegetais em grandes áreas geográficas (Becker, 2002; Jensen *et al.*, 1992; Welch *et al.*, 1991), e têm sido utilizados em alguns estudos referentes às comunidades de macrófitas nos ambientes aquáticos (Baart *et al.*, 2010; Davranche *et al.*, 2010; Jensen *et al.*, 1992; Bogucki *et al.*, 1980; Brown, 1978).

É importante ressaltar que grande parte desses estudos foi conduzida em ambientes lênticos (Vis *et al.*, 2003; Remillard & Welch, 1993; Remillard & Welch, 1992). Nesses ambientes as variáveis que influenciam a distribuição espacial da comunidade de macrófitas estão mais relacionadas às características físico-químicas da água, profundidade e concentração de nutrientes. Para ambientes lóticos a distribuição espacial da comunidade de macrófitas depende também de variáveis externas ao ambiente aquático. De fato os ambientes lóticos têm maior dependência do ambiente terrestre adjacente do que os ambientes lênticos. Assim, para se entender como se dá a distribuição de macrófitas aquáticas em ambientes de água corrente é importante analisar também as variáveis da paisagem do entorno. Além disso, apesar da grande quantidade de recursos oferecidos pelo SIG e da sua aplicabilidade na área ambiental, utilização de SIGs e técnicas de modelagem em estudos de distribuição geográfica potencial de espécies de macrófitas ainda é muito escassa, principalmente quando se trata de rios em ecossistemas tropicais devido, em parte, à falta de um

banco de dados consolidado referente às espécies que ocorrem nos ambientes tropicais.

Vale ressaltar, portanto, que técnicas de SIG e de modelagem de distribuição de espécies são de fundamental importância para o entendimento do funcionamento desses ecossistemas e seus componentes, proporcionando informações e ferramentas de grande importância para programas de conservação de biodiversidade nos ambientes aquáticos e ações de desenvolvimento sustentável.

Referências Bibliográficas

- BAART, IAB., Gschöpf, CC., Blaschke, APC., Preiner, SAB., Thomas Hein, TAB. 2010. Prediction of potential macrophyte development in response to restoration measures in an urban riverine wetland. *Aquatic Botany*, vol. 93, p.153–162.
- BARENDREGT, A. and BIO, AMF. 2003. Relevant variables to predict macrophytes communities in running waters. *Ecological Modelling*, vol. 160, p. 205 – 217.
- BECKER, FG. 2002. Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica em Ecologia e Manejo de Bacias Hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A. and CAMARGO, AFM. *Conceitos de Bacias Hidrográficas*. Editus. Ilhéus – BA. 293 p.: II
- BOGUCKI, DJ., GRUENDLING, GK. and MADDEN, M. 1980. Remote sensing to monitor water chestnut growth in Lake Champlain. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 35, n. 2, p. 79-81.
- BROWN, WW. 1978. Wetland mapping in New Jersey and New York. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 44, n.3, p. 303-314.
- DAVRANCHE, AA., LEFEBVRE GB. and POULIN, B. 2010. Wetland monitoring using classification trees and SPOT-5 seasonal time series. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, p. 552–562.

- FERRAZ, KMPMB. Distribuição espacial da capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) em função da paisagem na bacia do rio Piracicaba, SP. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP, 2004.
- JENSEN, JR., NARUMALANI, S., WEATHERBEE, O., MORRIS Jr. KS., and MACKEY Jr., H. 1992. Predictive modeling of cattail and waterlily distribution in a South Carolina reservoir. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 58, n. 11, p. 1561- 1568.
- KLEINBAUM, DG. 1996. *Logistic regression: a self-learning text*. Springer-Verlag. New York, USA. 282 p.
- LEHMANN, A. 1998. GIS modeling of submerged macrophyte distribution using Generalized Additive Models. *Plant Ecology*, vol. 139, p. 113–124.
- HEEGAARD, E., BIRKS, HH., GIBSON, CE., SMITH, SJ. and WOLFE-MURPHY, S. 2001. Species-environmental relationships of aquatic macrophytes in Northern Ireland. *Aquatic Botany*, vol. 70, p. 175 - 223.
- REMILLARD, MM. and WELCH, RA. 1992. GIS technologies for aquatic macrophyte studies: I. Databases development and changes in the aquatic environment. *Landscape Ecology*, vol. 7, n.3, p. 151 – 162.
- REMILLARD, MM. and WELCH, RA. 1993. GIS technologies for aquatic macrophyte studies: Modeling applications. *Landscape Ecology*, vol. 8, n. 3, p. 163 – 175.
- SÁNCHEZ-FLORES, E. 2007. GARP modeling of natural and human factors affecting the potential distribution of the invasives *Schismus arabicus* and *Brassica tournefortii* in ‘El Pinacate y Gran Desierto de Altar’ Biosphere Reserve. *Ecological Modelling*, vol. 204, p. 457 – 474.
- WELCH, R., REMILLARD, M. and ALBERTS, J. 1991. Integrated resource databases for coastal management. *GIS World*, vol. 4, n.3, p. 86 – 89.

- VIS CA., HUDON, CB. and, CARIGNAN AR. 2003. An evaluation of approaches used to determine the distribution and biomass of emergent and submerged aquatic macrophytes over large spatial scales. *Aquatic Botany*, vol. 77, p. 187–201.
- PETERSON, A.; WILLIAMS, R. and CHEN, G. 2007. Modeled global invasive potential of Asian gypsy moths, *Lymantria dispar*L. *Entomologia experimentalis et Applicata*, vol. 125, p. 39-44.
- BIANCHINI Jr., I., PACOBAHYBA, LD. and CUNHA-SANTINO, MB. 2002. Aerobic and anaerobic decomposition, of *Montrichardi arborescens* (L.) Schott. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 14, n. 3, p. 27 – 34.
- MITCHELL, DS., PETR, T. and VINER, AB. 1980. The water-fern *Salvinia molesta* in the Sepik River, Papua New Guinea. *Environmental Conservation*, vol. 7, n. 2, p. 115 – 122.
- THOMAZ, SM. and CUNHA, ER. 2010. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 22, n. 2, p. 218-236.