

Livro de Atas

Apenas Comunicação Oral	<input checked="" type="checkbox"/>	Apenas Poster	<input type="checkbox"/>	Comunicação Oral ou Poster	<input type="checkbox"/>
-------------------------	-------------------------------------	---------------	--------------------------	----------------------------	--------------------------

(Assinalar com **X** a opção de submissão desejada)

MODELOS ESPACIALMENTE EXPLÍCITOS DE ANÁLISE DE DINÂMICAS LOCAIS: O CASO DA VEGETAÇÃO NATURAL POTENCIAL NO APOIO AO PLANEAMENTO E ORDENAMENTO TERRITORIAL

Francisco Gutierrez (1)

Eusébio Reis (1)

Carlos Neto (1)

José Carlos Costa (2)

(1) Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa; Edifício IGOT, Avenida Prof. Gama Pinto, 1649-003 Lisboa; E-mail: franciscogutierrez@campus.ul.pt; cneto@campus.ul.pt; eusebioreis@campus.ul.pt

(2) Instituto Superior de Agronomia - Universidade de Lisboa; Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa; E-mail: jccosta@isa.ulisboa.pt

RESUMO

A definição da Vegetação Natural Potencial (VNP) reveste-se de grande utilidade no apoio aos processos de decisão no âmbito do ordenamento territorial. Em territórios classificados em que a vegetação apresenta elevada perturbação, como se verifica em algumas áreas dos Sítios da Rede Natura 2000 “Comporta/Galé” e “Estuário do Sado”, a expressão cartográfica da VNP tem a necessidade de se apoiar num conjunto de elementos que vão além das condições da vegetação atual. A modelação preditiva da distribuição das séries de vegetação possibilita a produção de mapas probabilísticos com base na extrapolação das relações entre as variáveis ambientais e as comunidades vegetais.

Os resultados obtidos permitiram aferir o modo como os gradientes ecológicos determinam a ocorrência de diversos tipos de séries de vegetação, tal como, a espacialização da VNP para o território em estudo. A expressão cartográfica da VNP a escalas de pormenor assume um papel importante no planeamento e ordenamento do território.

1. INTRODUÇÃO

A Vegetação Natural Potencial (VNP) materializa o estágio de máximo desenvolvimento da vegetação num dado habitat que ocorreria num determinado território e suas envolventes se não existisse qualquer influência humana [1], [2]. A VNP define-se através de comunidades vegetais que atingiram o seu máximo ecológico estável, estando em equilíbrio com as condições do biótopo [1], [3], [4].

Durante a última década, a Europa tem vindo a assistir a uma crescente consciencialização sobre a importância da cartografia da VNP e sua utilidade como uma ferramenta para apoiar as atuais estratégias de Planeamento e Ordenamento do Território [2].

Recentemente, a modelação da VNP tem registado avanços significativos com o desenvolvimento de diversos modelos e software Open Source com grande capacidade de processamento. Com base no cariz relativamente determinístico do processo de sucessão ecológica e na sua relação com os principais fatores ambientais – climáticos, geomorfológicos e edáficos –

Livro de Atas

é possível modelar e prever a vegetação potencial para uma determinada área, através da análise da comunidade vegetal atualmente presente e do conhecimento das séries de vegetação desse território. Neste sentido, para além da produção da carta da VNP do território em estudo a escalas de grande detalhe, pretende-se aprofundar o conhecimento sobre os gradientes ecológicos associados às séries de vegetação, com recurso à aplicação de várias técnicas de modelação preditiva em ambiente SIG. Deste modo, pretende-se contribuir para a definição de modelos calibrados de adequabilidade das séries de vegetação baseados em regras de decisão, comparar e testar diferentes alternativas metodológicas e fornecer orientações para a investigação da VNP a escalas de pormenor.

1.1 Área de Estudo

A área de estudo integra-se em dois Sítios de Importância Comunitária (SIC) pertencentes à Região Biogeográfica Mediterrânica, que fazem parte da rede europeia de SIC - Rede Natura 2000: 'Estuário do Sado' (PTCON0011) e 'Comporta / Galé' (PTCON0034) (Figura 1). Estes territórios classificados apresentam uma considerável diversidade litológica, pedológica e topográfica, o que determina a ocorrência de uma grande diversidade de séries de vegetação com comunidades vegetais importantes para proteção e conservação, incluídas no Anexo I da Diretiva Habitats. Tendo em consideração o desenvolvimento conceptual e metodológico (ao nível da seleção e conceção das múltiplas variáveis ambientais preditivas) da modelação preditiva, foi considerada a faixa de costa compreendida entre Sines e o limite norte da Península de Tróia e as respetivas áreas interiores do território dos Distritos Sadense e Costeiro Vicentino [2].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A modelação espacial da distribuição da VNP baseou-se num conjunto de variáveis preditivas, consideradas representativas das características biofísicas presentes no território estudado e em dados de distribuição de comunidades vegetais. Sobre estes conjuntos de dados

geográficos foi aplicado um conjunto de ferramentas de análise exploratória e de modelação, que possibilitaram a criação de '*Species Distribution Models (SDM)*' ao nível da comunidade e, por sua vez, a determinação da VNP.



Sistema de Referência Terrestre Europeu 1989
 (PT-TM06/ETRS89) (EPSG: 3763)



Fonte: ICNF (2012) e DGT (2013).

Figura 1 – Localização Geográfica da Área de Estudo.

2.1 Amostragem

Os levantamentos das presenças das comunidades vegetais foram efetuados diretamente no terreno com recurso a um GPS com correção diferencial, com base na carta da vegetação atual, e ainda com recurso a foto-interpretação de ortofotomapas de 2007 (Direção-Geral do Território).

Os pontos de presença foram determinados segundo a amostragem baseada na alocação aleatória

Livro de Atas

proporcional de amostras entre estratos (*‘Proportional random-stratified sampling’*) [2].

Os pontos de ausência foram igualmente determinados por uma amostragem aleatória estratificada. Na alocação das pseudo-ausências para cada série de vegetação foram consideradas as áreas onde se observam condições abióticas extremas entre os biogeossistemas em que se integram as respetivas séries de vegetação, como por exemplo, biótopos halofíticos versus biótopos psamófilos). Foi adotada uma prevalência com valor 1 (Tabela 1), por produzir um equilíbrio ideal entre erros de omissão e comissão no SDM [2].

Tabela 1 – Dados amostrais.

Séries de Vegetação	Presenças	Ausências
<i>Asparago aphylli-Querceto suberis sigmetum</i>	138	138
<i>Aro neglecti-Querceto suberis sigmetum</i>	939	939
<i>Daphno gnidi-Junipereto navicularis sigmetum</i>	744	744
<i>Osyrio quadripartitae-Junipereto turbinatae sigmetum</i>	221	221
Geossérie ripícola de <i>Salix atrocinerea</i>	521	521
Série edafohigrófila palustre de <i>Salix atrocinerea</i>	105	105
<i>Geopermasigmetum</i> psamófilo	187	187
<i>Geopermasigmetum</i> halófito	559	559
<i>Geopermasigmetum</i> turfófilo	200	200

2.2 Seleção das variáveis preditivas

As variáveis preditivas integradas no SDM geralmente incluem uma mistura de variáveis contínuas e categóricas, não sendo expectável que as relações entre estas e a variável resposta sejam lineares, sendo, deste modo, passível a ocorrência de interações entre variáveis [5]. A mesma autora adverte que estes fatores deverão ser considerados na formulação estatística do SDM.

Neste sentido, as variáveis preditivas selecionadas resultam do modelo conceptual da VNP e da disponibilidade de cartografia de base (curvas de nível extraídas da carta militar de Portugal, série M888, na escala 1:25 000 (Instituto Geográfico do Exército), da carta de solos na escala 1:25 000) (Instituto de Hidráulica Engenharia Rural e Ambiente) e da carta geológica na escala 1: 500 000 (Laboratório Nacional de Energia e Geologia). Em função da escala de

análise adotada, que requer uma maior diferenciação territorial, é vista como fundamental a incorporação de variáveis morfométricas (e.g. Radiação Solar Potencial) para melhor aferição dos gradientes ecológicos (curvas de resposta) e da adequação ótima das séries de vegetação. Deste modo, os dados de base foram integrados em estrutura matricial (com uma resolução de 5m definida em função das mencionadas variáveis morfométricas) e modelados no QuantumGIS e SAGAGIS, tendo sido determinadas as variáveis preditivas consideradas explicativas e necessárias para a modelação da VNP: Altitude, Radiação Solar Potencial, Índice de Posição Topográfica (TPI), Índice Topográfico de Humidade (TWI), Índice Topográfico de Exposição/Abrigo ao vento, Solos e Geologia.

2.3 Modelação da VNP

Tendo por base o modelo concetual da VNP, com a base de dados espaciais e com a possibilidade de integração de um vasto conhecimento empírico, aplicou-se a abordagem *‘classification-then-modelling’* desenvolvida por [2] (Figura 2). As etapas metodológicas desta estratégia de modelação consistem, numa primeira fase, na análise exploratória das variáveis preditivas e na ligação ou estabelecimento de relações entre os dados georreferenciados das comunidades com as variáveis preditivas, sendo necessário extrair para uma matriz de dados os valores das localizações das comunidades e das variáveis independentes. Posteriormente, foram aplicados métodos baseados em algoritmos estatísticos (Modelos Lineares Generalizados - GLM), de *‘machine learning’* e inteligência artificial (Máxima Entropia - Maxent), Redes Neurais Artificiais (ANN), Máquinas de Suporte Vetorial (SVM), *‘rule-based’* (Algoritmo Genético para Produção de um Conjunto de Regras - GARP), envelopes bioclimáticos (Bioclim), distâncias ambientais (Domain) e em análises multivariadas (ENFA), que descrevem/integram as relações entre as ocorrências e as variáveis preditivas [2], [5]. Foram utilizados os softwares de modelação preditiva Open Source *OpenModeller*, *ModEco* e *R*. Deste modo, foram utilizadas oito técnicas de modelação com o objetivo

Livro de Atas

de determinar quais os modelos que produzem um melhor ajustamento entre a variável dependente e variáveis independentes e, deste modo, podem ser

eficazmente utilizados para fazer a representação espacial contínua das séries de vegetação em estudo.

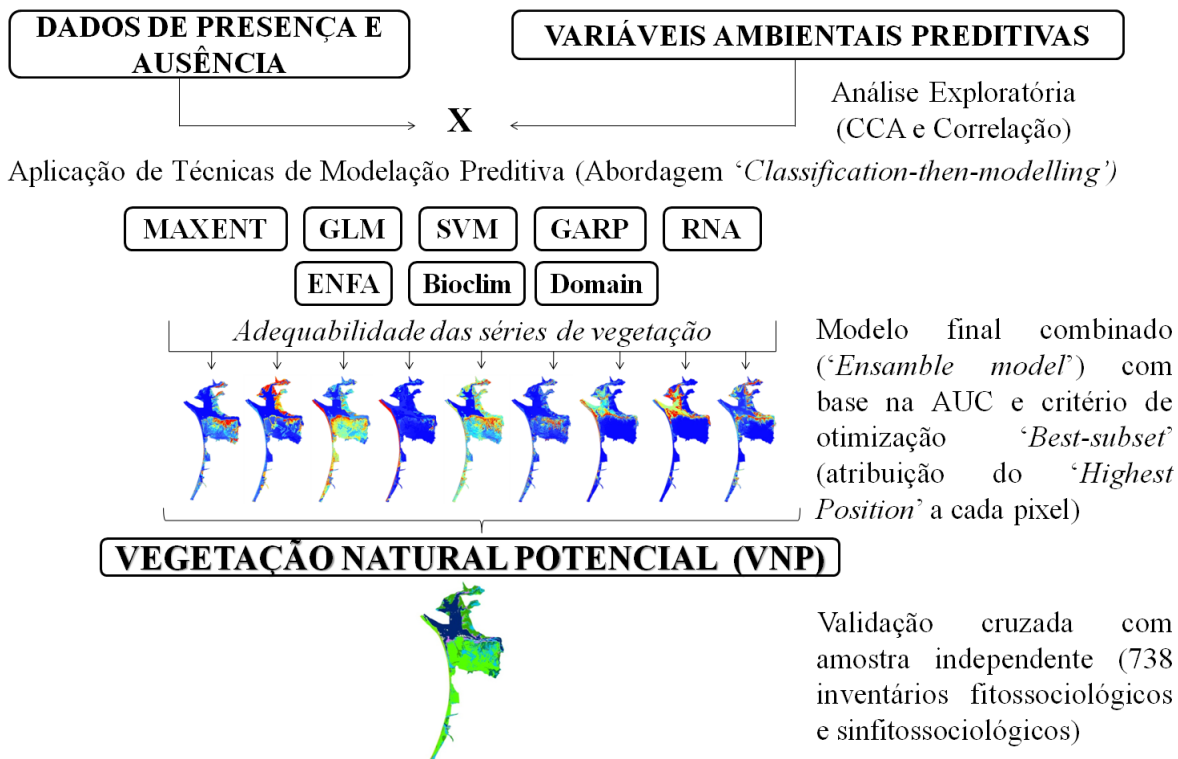


Figura 2 – Modelo conceitual para a determinação da VNP.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

3.1 Comparação dos modelos SDM da VNP

Todos os modelos foram comparados segundo o valor de ‘Area Under the Curve (AUC)’, quer entre as várias séries de vegetação, quer entre os modelos desenvolvidos pelas diferentes técnicas. Pela análise da Tabela 2 pode-se observar que para todas as séries de vegetação os modelos Maxent, ANN, SVM e distâncias ambientais (Domain) apresentam um melhor desempenho preditivo face aos restantes (valores médios de AUC ≥ 0.85). Deste modo, as omissões sobre as amostras de validação se ajustam bem à taxa de omissão prevista, o que significa um bom desempenho dos modelos, e que a AUC gerada foi maior do que o valor aleatório (0.5).

Tabela 2 – Modelos preditivos da VNP com maior desempenho preditivo (AUC ≥ 0.85).

Modelos	AUC média
Maxent (Mean 15 replicates)	0.96
Environmental Distance (Domain) type 1	0.85

Livro de Atas

<i>Environmental Distance (Domain) type 3</i>	0.86
<i>SVM type 7</i>	0.87
<i>SVM type 8</i>	0.86
<i>ANN type BP (Mean 15 replicates)</i>	0.95

Os modelos desenvolvidos por cada uma das oito técnicas de modelação (com diferentes parametrizações) foram regionalizados utilizando a cartografia temática de base de cada variável preditiva, de forma a espacializar a distribuição potencial das séries de vegetação. Através de processos de análise espacial em ambiente SIG, os mapas de localização adequada de cada série de vegetação foram combinados (*‘Ensamble model’*) com base na AUC e critério de otimização *‘Best-subset’* (atribuição do *‘Highest Position’* a cada píxel), resultando deste modo, o mapa da VNP da área de estudo (Figura 3). Finalmente, foi comparado o desempenho da cartografia preditiva produzida com inventários fitossociológicos e sinfitossociológicos. O mapa da VNP resultante do modelo Maxent apresenta uma EG de 86% e concordância substancial (*Kappa* igual a 0.79).

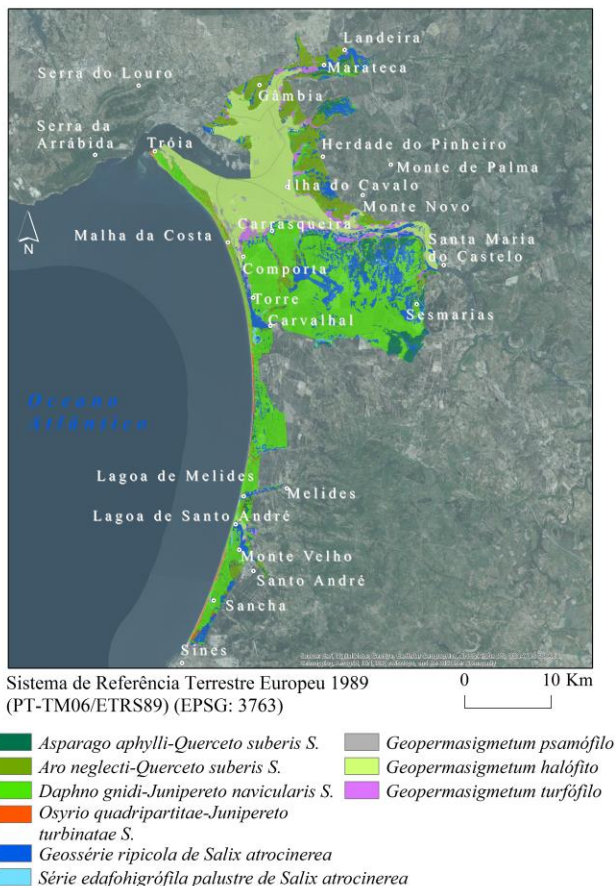


Figura 3 – Carta da Vegetação Natural Potencial (VNP) da área de estudo.

3.2 Distribuição local da VNP ao longo de gradientes ambientais

Livro de Atas

Os modelos da VNP produzidos possibilitaram uma melhor compreensão dos principais fatores biofísicos associados à distribuição das séries de vegetação no território estudado. O modelo Maxent, além de apresentar um elevado desempenho preditivo, possibilita uma análise integrada da adequabilidade ao longo de gradientes ambientais. Observam-se alguns aspetos interessantes relacionados com as curvas de resposta, nomeadamente a forma como cada variável per se afeta o modelo ('*stepwise with backward elimination*').

Os resultados dos modelos preditivos da VNP, a partir das curvas de resposta do modelo Maxent, estão de acordo com o conhecimento atual da ecologia das séries de vegetação estudadas [6]. Observou-se que em todas as séries de vegetação as variáveis Solos, Geologia e Altitude apresentam um elevado contributo para a sua distribuição no território estudado. Convém ainda destacar a importância da variável Radiação Solar Potencial na diferenciação das séries *Asparago aphylli-Querceto suberis sigmetum*, Geossérie ripícola de *Salix atrocinerea*, Série edafohigrófila palustre de *Salix atrocinerea*, *Osyrio quadripartitae-Junipereto turbinatae sigmetum* e *Geopermasigmetum* psamófilo. Tal facto, é igualmente reforçado pelo elevado contributo do Índice de Posição Topográfica para estas duas últimas séries de vegetação. Já o Índice Topográfico de Exposição/Abrigo ao vento apresenta um contributo considerável para as séries *Asparago aphylli-Querceto suberis sigmetum*, Geossérie ripícola de *Salix atrocinerea* e *Geopermasigmetum* turfófilo. Por sua vez, o Índice Topográfico de Humidade apresenta importância na distinção da Geossérie ripícola de *Salix atrocinerea*, Série edafohigrófila palustre de *Salix atrocinerea*, *Geopermasigmetum* psamófilo e *Geopermasigmetum* halófito.

4. CONCLUSÕES

A estratégia de modelação preditiva ao nível da comunidade ('*classification-then-modelling*') permitiu a quantificação e avaliação da distribuição espacial da VNP na área de estudo. Assim sendo, para além do elevado desempenho preditivo do modelo Maxent, os resultados obtidos por este modelo permitiram aferir o modo como os gradientes ecológicos, expressos ao longo das curvas de resposta, determinam o nicho realizado para as diversas séries de vegetação.

Conclui-se que a expressão cartográfica da VNP no território assume um papel importante no Planeamento e Ordenamento do Território, nomeadamente, ao nível das políticas de proteção dos Solos e da Biodiversidade, assim como nos Planos de Ordenamento do Território em vigor. A sua aplicação na reconstituição da vegetação natural após ação antrópica apresenta igualmente enorme importância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Neto C., Pereira E., Reis E., Costa J. C., Capelo J., Henriques C. (2008) Carta da Vegetação Natural Potencial de Caldas da Rainha. *Finisterra*, 43(86): 31–56.
- [2] Gutierrez F., (2014) Estrutura e Dinâmica dos Habitats e da Paisagem dos Sítios Estuário do Sado e Comporta/Galé - Um contributo para a Gestão e Restauro Ecológico. 736p. Dissertação de doutoramento em Geografia Física, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa (IGOT-UL).
- [3] Ricotta C., Carranza M. L., Avena G., Blasi C. (2000) Quantitative comparison of the diversity of landscapes with actual vs. potential natural vegetation. *Applied Vegetation Science*, 3(2): 157–162.
- [4] Loidi J., Fernández-González F. (2012) Potential Natural Vegetation: reburying or reboring? *Journal of Vegetation Science*, 23(3): 596–604.
- [5] Franklin J. (2009) Mapping species distributions. *Spatial Inference and Prediction*. 320p. Cambridge University Press, London.
- [6] Costa J. C., Neto C., Aguiar C., Capelo J., Espírito-Santo M., Honrado J., Pinto-Gomes C., Monteiro-Henriques T., Sequeira M., Lousã M. (2012) Vascular Plant Communities in Portugal (Continental, The Azores and Madeira). *Global Geobotany*, 2: 1–180.

osgeo-pl

SASIG



Livro de Atas