

MODELAGEM GEOGRÁFICA E ENERGIAS RENOVÁVEIS. APLICAÇÕES PARA APOIO À DECISÃO NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS

*Modeling Geographic and Renewable Energies.
Applications for Decision Support in Identifying Potential Areas*

Rui Pedro Julião

Universidade Nova de Lisboa - UNL
CICS.NOVA
Avenida de Berna, 26C, Lisboa, Portugal
rpj@fcsh.unl.pt

Vivian da Silva Celestino

Eletrosul Eletrobras
Departamento de Engenharia Ambiental e Fundiária
Rua Deputado Antônio Edu Vieira, 999, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
viviancart@yahoo.com.br

Resumo:

A redução da emissão de Gases com Efeito de Estufa, designadamente CO₂, é um compromisso global que tem vindo a ganhar preponderância e as fontes eólica, hídrica e solar, são cada vez mais uma alternativa à produção de energia a partir de combustíveis fósseis, mas a sua exploração também não está isenta de conflitos. A modelagem geográfica surge como ferramenta essencial para melhor determinar quais as áreas com maior potencial para viabilizar economicamente a exploração destas fontes alternativas, sem comprometer o meio. Foram concebidos e desenvolvidos modelos conceituais de análise espacial, segundo o padrão OMT-G e modelos operacionais em ModelBuilder (implementação efetuada com tecnologia ArcGIS da ESRI). Efetuou-se uma aplicação de teste na região centro de Portugal Continental. Este artigo irá discutir quatro aspectos essenciais que são o enquadramento e pertinência da metodologia; os princípios básicos da modelagem geográfica aplicados às fontes de energias renováveis; a construção dos modelos conceitual, lógico e físico; e a aplicação à área de teste. Os resultados obtidos permitiram comprovar a viabilidade da metodologia preconizada e, simultaneamente, criar um conjunto de recomendações para melhorar as condições de aplicação dos modelos e incrementar a qualidade dos resultados obtidos.

Palavras-chave: Energias renováveis, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Modelagem Geográfica.

Abstract

Reducing the emission of gases with greenhouse effect, in particular CO₂, is a global commitment that has gained prevalence and wind, hydro and solar, are increasingly an alternative to energy production from fossil fuels, but its operation is also not free from conflict. Geographic modeling emerges as an essential tool to better determine which areas have the greatest potential for economically viable exploitation of these alternative sources without compromising the environment. Conceptual models for spatial analysis were designed and developed, according to the standard OMT-G, and operational models in ModelBuilder (implementation done with ESRI's ArcGIS technology). A test application was carried out in the center region of Portugal. This paper will discuss four key issues that are the framework and relevance of the methodology; the basic principles of geographic modeling applied to renewable energy sources; the construction of conceptual, logical and physical models; and the

Anais do COBRAC 2016 - Florianópolis –SC – Brasil - UFSC – de 16 à 20 de outubro 2016

application to the test area. Achieved results allowed to prove the viability of the proposed methodology and simultaneously create a set of recommendations to improve the conditions of application of the models and increase the quality of results

Keywords: Renewable energies, Geographic Information Systems (GIS), Geographic Modeling.

1 INTRODUÇÃO

A procura de fontes renováveis de energia tem sido incrementada com o objetivo de responder à crescente procura de energia elétrica mundial produzida de forma sustentável, pois a combustão de energias fósseis (petróleo, gás e carvão) é responsável por dois terços das emissões mundiais dos Gases com Efeito Estufa (GEE), seguida do desmatamento por 17% e da agricultura por 15,5%, o que pode ocasionar mudanças repentinas e irreversíveis no clima do planeta. O aumento do nível do mar e extensas perdas significativas de biodiversidade são apenas dois exemplos da vasta variedade de possíveis impactos. Sem contar que a expectativa é de que, até o final do século XXI, as temperaturas aumentem em média 2º Celsius se não forem tomadas medidas emergenciais para reduzir a emissão dos GEE.

No Protocolo de Quioto de 1997 foi acordada a redução das emissões das principais substâncias responsáveis pelo aquecimento da atmosfera aos 36 países industrializados que o ratificaram, bem como os países com economias em transição. O protocolo impôs “objetivos diferenciados” de acordo com os países como, por exemplo, de 8% para o conjunto da União Europeia, ou de 6% para o Canadá e o Japão. A eficiência energética, o desenvolvimento de energias suaves (solar e eólica, dos oceanos ou geotérmica) e a valorização dos resíduos são elementos de uma estratégia de reduzir este problema para além de desenvolver novas áreas de investimento (ELOY, 2009).

Mas para que seja tomada uma decisão assertiva, em relação à definição destas áreas, é necessário realizar a compilação de variáveis que sejam também pertinentes aos temas econômico, social e financeiro, vinculados a dados e informações da Terra distribuídas de forma espacial e sistêmica. Quando a informação produzida necessita ser espacializada geograficamente como um conhecimento para permitir a tomada de decisão, o conceito de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) surge como uma ferramenta. Os SIG são um conjunto/sistema de hardware, software e procedimentos concebidos para apoiar o recolhimento, a gestão, a análise, a modelagem e a visualização de dados georreferenciados para solucionar problemas de planejamento e de gestão (MENDES, 2013). A utilização de SIG, por associar variáveis qualitativas e quantitativas, garante um resultado de qualidade, com menor custo associado e em menor tempo.

Neste contexto o objetivo principal deste trabalho é apresentar um método desenvolvido em SIG, a fim de identificar os locais mais apropriados para instalar projetos de geração de energia por fontes renováveis. Especificamente: definir os produtos cartográficos e/ou meteorológicos para extrair as informações para identificação do potencial gerador; produzir um modelo conceitual universal no padrão OMT-G e um modelo lógico/físico em Model Builder para identificar as áreas; e, aplicar os modelos produzidos para validação.

2 ENERGIAS RENOVÁVEIS

São consideradas energias renováveis ou suaves todas aquelas que utilizam as forças da natureza para gerar energia sem agredir o meio ambiente, como, por exemplo, as pequenas e médias unidades de produção a partir de biomassa (resíduos florestais ou agrícolas), da

geotermia (aproveitamento do diferencial de calor da terra ou água), da velocidade e constância dos ventos (eólica), dos gradientes solares ou das hídricas de pequeno formato. Todas as fontes, independentes de sua proveniência, possuem problemas e devem ser analisadas no seu âmbito e dimensão, pois qualquer desenvolvimento energético ou industrial deve ser objeto de um estudo de avaliação de seu impacto social e ambiental, levando em conta não somente as lógicas econômicas, mas principalmente as ambientalmente sustentadas (ELOY, 2009).

A energia hídrica é aquela gerada pelo aproveitamento do fluxo das águas em uma usina e quando utilizada de forma responsável, pode ser considerada renovável. As principais variáveis utilizadas na sua classificação são: altura da queda de água, vazão, capacidade ou potência instalada, tipo de turbina empregada, localização, tipo de barragem e reservatório (ANEEL, 2008). Em Portugal, em um ano hidrológico médio, a energia hídrica representa cerca de 25% do total da eletricidade consumida no país (ELOY, 2009). No Brasil esta representação chega a mais de 70%.

A energia eólica é aquela obtida do movimento dos ventos (energia cinética), através da migração das massas de ar provocada pelas diferenças de temperatura existentes na superfície do planeta. A geração eólica ocorre pelo contato do vento com as pás do catavento, que ao girar, dão origem à energia mecânica que aciona o rotor do aerogerador e produz a eletricidade (ANEEL, 2008). É considerada renovável, amplamente disponível e com baixo impacto ambiental. Os países que mais fazem uso dessa energia são a Alemanha, Estados Unidos, Espanha, Índia, China, Dinamarca, Itália, França, Reino Unido e Portugal (AMARANTE, 2009).

A energia solar chega à Terra nas formas térmica e luminosa. Ao passar pela atmosfera terrestre, a maior parte da energia solar manifesta-se sob a forma de luz visível de raios infravermelhos e ultravioleta. São os equipamentos utilizados na captação da luz que determinam qual será o tipo de energia a ser obtida. Se for utilizada uma superfície escura para a captação, a energia solar será transformada em calor (solar térmico). Se utilizadas células fotovoltaicas, o resultado será a eletricidade (fotovoltaico) (ANEEL, 2008). A energia solar apresenta-se cada vez mais como uma grande solução energética para o planeta, é uma fonte inesgotável, gratuita e não poluente. Dispondo de 2300 a 3000 horas de sol por ano, Portugal está em situação privilegiada para a utilização da energia solar (ELOY, 2009). O Brasil ocupa o 1º lugar no potencial solar da América Latina.

3 MODELAGEM GEOGRÁFICA

A modelagem geográfica tem vindo a ganhar relevância nos últimos anos, fruto dos desenvolvimentos metodológico e tecnológico. Por um lado a Cartografia, a Geografia e outras ciências ligadas à Terra têm desenvolvido ferramentas de análise e, por outro lado, as componentes de hardware e software também evoluíram substancialmente. Em simultâneo, a existência de vários projetos de produção e disponibilização de dados veio complementar a oferta e proporcionar o suporte para a implementação e teste dos modelos.

3.1 Modelagem Conceitual

Modelagem conceitual de dados geográficos é uma representação e organização simplificada de elementos da realidade geográfica, envolvendo a descrição de conteúdo, estrutura e operação, com a finalidade de suportar a criação de aplicações. Pode descrever dois tipos de dados: gráficos (notações) e semânticos (nomes das classes, dos atributos, multiplicidades das associações, etc.) (HUBNER, 2009). Segundo Lisboa Filho et al (2000) entre

os modelos mais conhecidos estão os do formalismo orientado à objetos (OO), tais como: GeoOOA, MADS, OMT-G e UML-GeoFrame.

O Object Modeling Technique (OMT) é uma técnica de modelagem criada nos anos 80 para o formalismo OO (CRAVEIRO, 2004) que acrescenta primitivas ao diagrama de classes da Unified Modeling Language (UML) para modelar a geometria e a topologia dos dados geográficos, oferecendo estruturas de agregação, especialização/generalização, rede, e de associações espaciais (BORGES, 1997). Tem como base três conceitos principais: classes, relacionamentos e restrições de integridade espaciais (BORGES et al, 2005).

As classes podem ser convencionais ou georreferenciadas que possuem subclasses e semiologia que as identifica e que representam os grupos de dados, que podem ser contínuos, discretos e não espaciais. As classes convencionais possuem atributos e algum tipo de relação com um objecto espacial, mas não têm propriedades geométricas (Figuras 1a e 1b). Cada classe é representada por um retângulo, subdividido em linhas. Na parte superior é especificado o nome da classe, no meio são delineados os seus atributos e na parte inferior suas operações. As classes georreferenciadas, além de possuírem as características das classes convencionais, detêm propriedades geométricas (Figuras 1c à 1n), as quais são representadas através de um símbolo apropriado na primeira linha do retângulo.

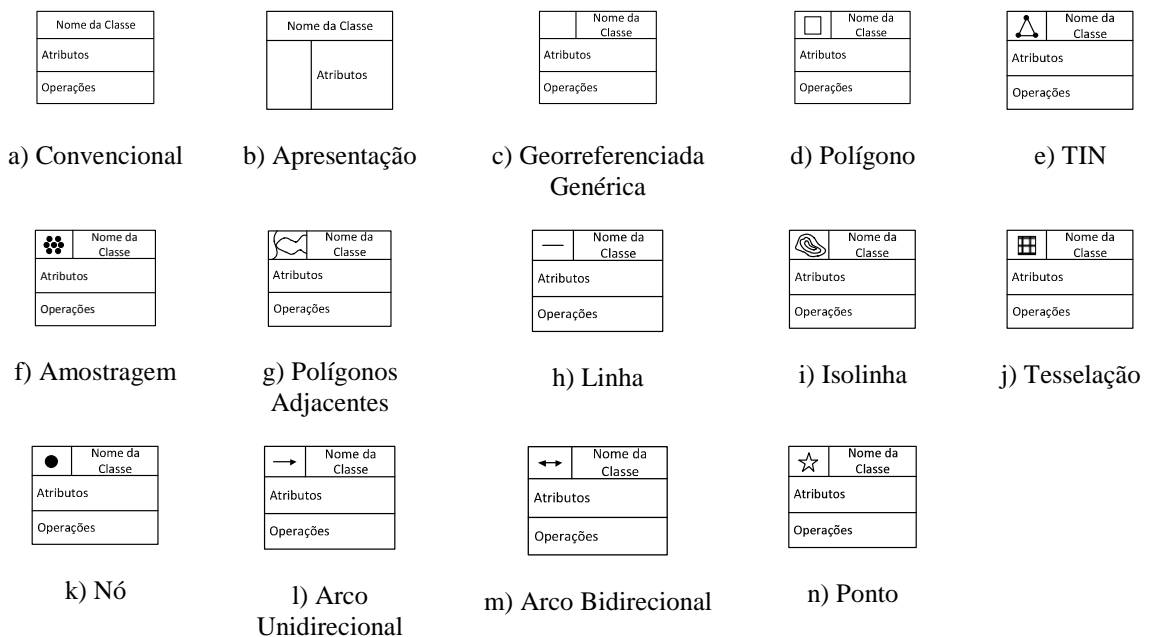


Figura 1 - Classes do Diagrama OMT-G

As classes georreferenciadas possuem subclasses do tipo Geo Campo (justaposição espacial que preenche por completo o espaço, ver figuras 1e, 1g e 1j) e Geo Objeto (composta por entidades geométricas, polígonos, pontos ou linhas, ver figuras 01h, 01i e 01n). As classes são associadas por relacionamentos que, de acordo com Borges (1997), no modelo OMT-G são definidos três tipos diferentes: associações simples, associações espaciais e associações topológicas em rede. A associação simples representa o relacionamento entre objectos de duas classes distintas e são representadas por: uma linha que interliga as duas classes, o nome da ligação e uma seta em cima da linha, indicando a direção do relacionamento (Figura 2a). A

associação espacial é utilizada para definir a relação entre duas classes georreferenciadas, para representar uma relação topológica, métrica, de ordem ou fuzzy. Ela é representada por uma linha pontilhada (Figura 2b). A associação topológica em rede define o relacionamento entre dois objectos que estão interligados. Interligam os geo-objectos do tipo: linha unidireccional, linha bidireccional e nó de rede. São representadas por duas linhas pontilhadas ligando as classes ou ligando-se à mesma classe. Entre as linhas é descrito o nome da ligação (Figuras 2c e 2d).

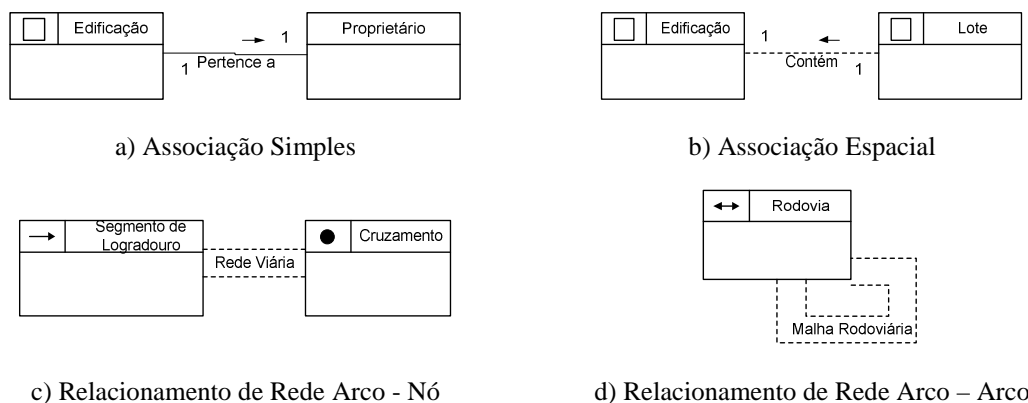


Figura 2 - Representação das associações do OMT-G

Os relacionamentos são caracterizados por sua cardinalidade, que representa o número de instâncias de uma classe que podem estar associadas a instâncias da outra classe. É um tipo de restrição de integridade e aparece nos finais de cada linha, na forma “mínimo...máximo”, onde mínimo e máximo são números inteiros, zero, um ou * (indicando mais de uma ocorrência). Ex: 0...* (zero ou mais), 1...* (um ou mais), 1 (exactamente um), 0...1 (zero ou um). Quando não consta indicação de cardinalidade na associação, significa que os valores de mínimo e máximo equivalem a 1 (HUBNER, 2009).

3.2 Modelagem Lógica/Física

A modelagem lógica é uma representação específica de um modelo interno que utiliza as estruturas específicas suportadas pelo software escolhido. É nesta modelagem que serão definidos os padrões e nomenclaturas, chaves primárias e estrangeiras, sempre levando em consideração o modelo conceitual criado anteriormente, com dependência de software. Já a modelagem física apresenta o menor nível de abstração, pois descreve o modo como os dados são salvos, onde se exige a definição tanto dos dispositivos de armazenamento físico como dos métodos de acesso (físico) necessários para se chegar aos dados, o que o torna dependente tanto de software como de hardware.

O Model Builder é uma ferramenta de apoio essencial na operacionalização dos modelos conceituais, pois agrega as etapas de modelagem lógica e física em somente uma etapa. Trata-se de um instrumento que, muito mais do que permitir o desenho, testa o procedimento, validando-o, e efetua a sua operacionalização (COSME, 2012), podendo ser considerado uma ferramenta de programação gráfica que reúne funções de geoprocessamento e a elaboração de modelos que podem ser utilizados em múltiplas ocasiões. Funciona como uma componente do software ArcGIS, permitindo criar fluxos de rotina de trabalho ou novas ferramentas, conjugando as ferramentas presentes no ArcToolbox e os conjuntos de dados geográficos (SILVA, 2015).

4 MÉTODO

Para desenvolver o método proposto, primeiramente foram definidas as variáveis e as informações necessárias para identificar as áreas com potencial para gerar energia pelas fontes renováveis definidas. Para a energia hídrica de pequeno formato ficou definida a utilização de uma altura de queda de 10 m e um barramento de 150 m, para a energia eólica ficou definida uma velocidade acima de 3,6 m/s como parâmetro e para a energia solar ficou definida a utilização das faces sul, sudeste, sudoeste, leste e oeste como parâmetros para captação nas formas térmica e fotovoltaica. Foi definida a utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE), donde possam ser derivadas as informações de altitude/altura, inclinação/declividade e aspecto da superfície e, para permitir a definição de restrições que devem ser levadas em consideração no mapeamento de potencial energético, dados relativos ao uso e ocupação do solo (obtidos por classificações de imagens de satélite ou de mapas temáticos). Foram também utilizados dados provenientes de estações meteorológicas.

Para o desenvolvimento do modelo conceitual foram utilizados os parâmetros e estereótipos do modelo OMT-G apresentados no item 3.1. Para desenhá-lo foi utilizado o Stencil OMT-G no Microsoft Visio 2010. O modelo foi subdividido em componentes, organizadas por fonte de energia: solar, eólica e hídrica. Para implementar o modelo lógico/físico foi utilizado o Model Builder do software ArcGIS descrito no item 3.2, também por fonte de energia.

O modelo lógico/físico criado foi aplicado, para efeitos de teste, na região centro de Portugal Continental, e obteve-se a identificação de área com potencial para gerar energia pelas fontes solar e hídrica e a identificação de área com potencial para gerar energia pela fonte eólica.

5 RESULTADOS

O desenvolvimento do modelo e sua aplicação permite apresentar resultados em três planos distintos: o modelo conceitual; o modelo lógico/físico; e a concretização da sua aplicação na área de teste.

5.1 Modelo Conceitual

O processo inicia-se pela identificação dos objetos geográficos e convencionais do tema e o seu agrupamento em classes. Como resultado obteve-se um total de 36 classes, sendo 34 geográficas e 2 convencionais. Ver exemplos nas figuras 3a e 3b.

Depois foi realizada a modelagem dos atributos espaciais e convencionais de cada classe, onde foram atribuídos os seguintes domínios: String, Boolean, Float e Date. Ver detalhes nas figuras 03a e 03b, principalmente na “Imagem Satélite” onde foram descritos os atributos “Id, Sensor, Data, Resolução, Sistema/Projeção”. Nas mesmas figuras podem ser observados os relacionamentos entre as classes de objetos, bem como a cardinalidade “um para um” de forma subentendida, donde resultaram classes secundárias, também pelo uso de operações.

O modelo conceitual apresenta-se, seccionado por grupos temáticos de energia, solar, eólica e hídrica, nas figuras 4, 5 e 6, respectivamente.

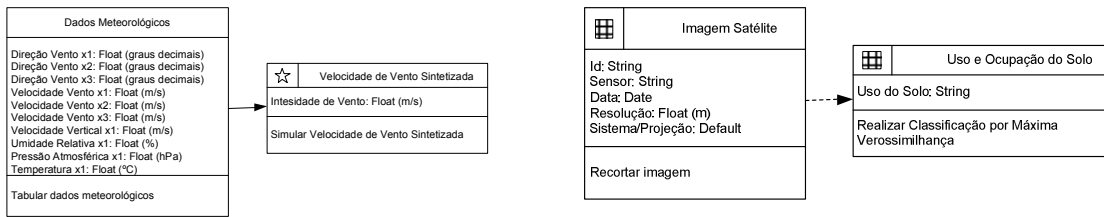


Figura 3a - Classe Primária Convencional, Associação Simples

Figura 3b - Classe Primária Geográfica, Associação Espacial

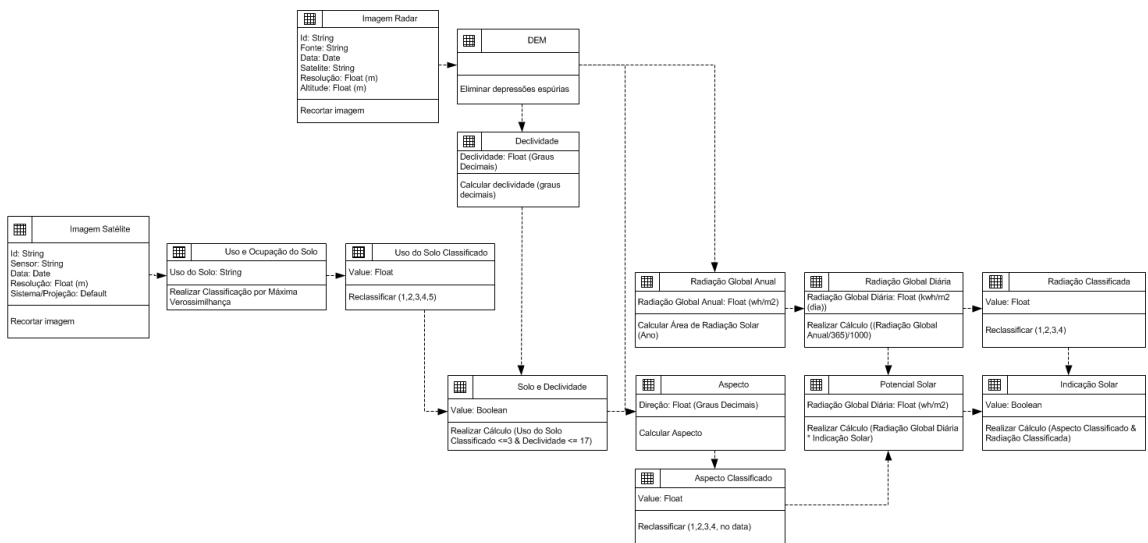


Figura 4 - Modelo Conceitual Geração Solar

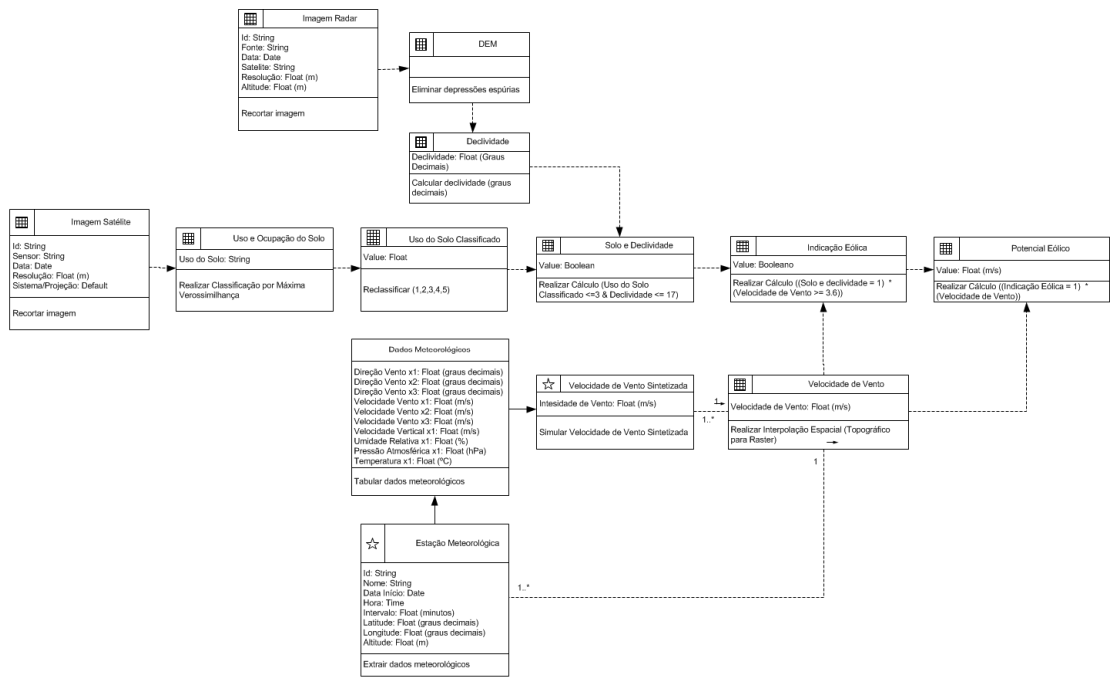


Figura 5 - Modelo Conceitual Geração Eólica

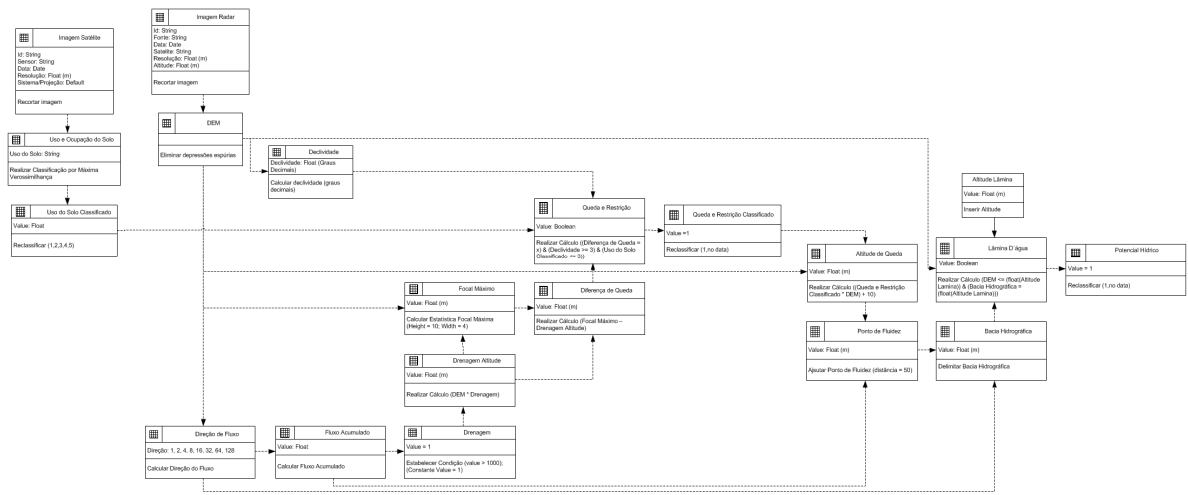


Figura 6 - Modelo Conceitual Geração Hídrica

5.2 Modelo Lógico/Físico

Nesta etapa foi realizada a implementação do modelo lógico/físico, já modelado conceitualmente, no Model Builder. Foram utilizadas as seguintes operações do Toolbox do ArcGIS para produzir o modelo: Topo to Raster, Clip, Fill, Flow Direction, Flow Accumulation, Conditional, Raster Calculator, Focal Statistics, Reclassify, Slope, Aspect, Buffer, Raster to point, Polygon to raster e Area solar radiation. No Anexo I contém os modelos lógico/físico para as três fontes de energia, sendo que o da hídrica está sendo dividido em duas figuras distintas para permitir uma melhor leitura.

5.3 Aplicação do Modelo

O modelo lógico/físico foi aplicado ao território Centro-Sul de Portugal Continental que continha todas as premissas necessárias. Como resultados foram gerados dois mapas que identificaram as áreas com potencial para gerar energia pelas fontes renováveis definidas: hídrica, com altura de queda de 10 metros e barramento de 150 metros (ver figura 7); eólica (ver figura 7); e solar (ver figura 8).

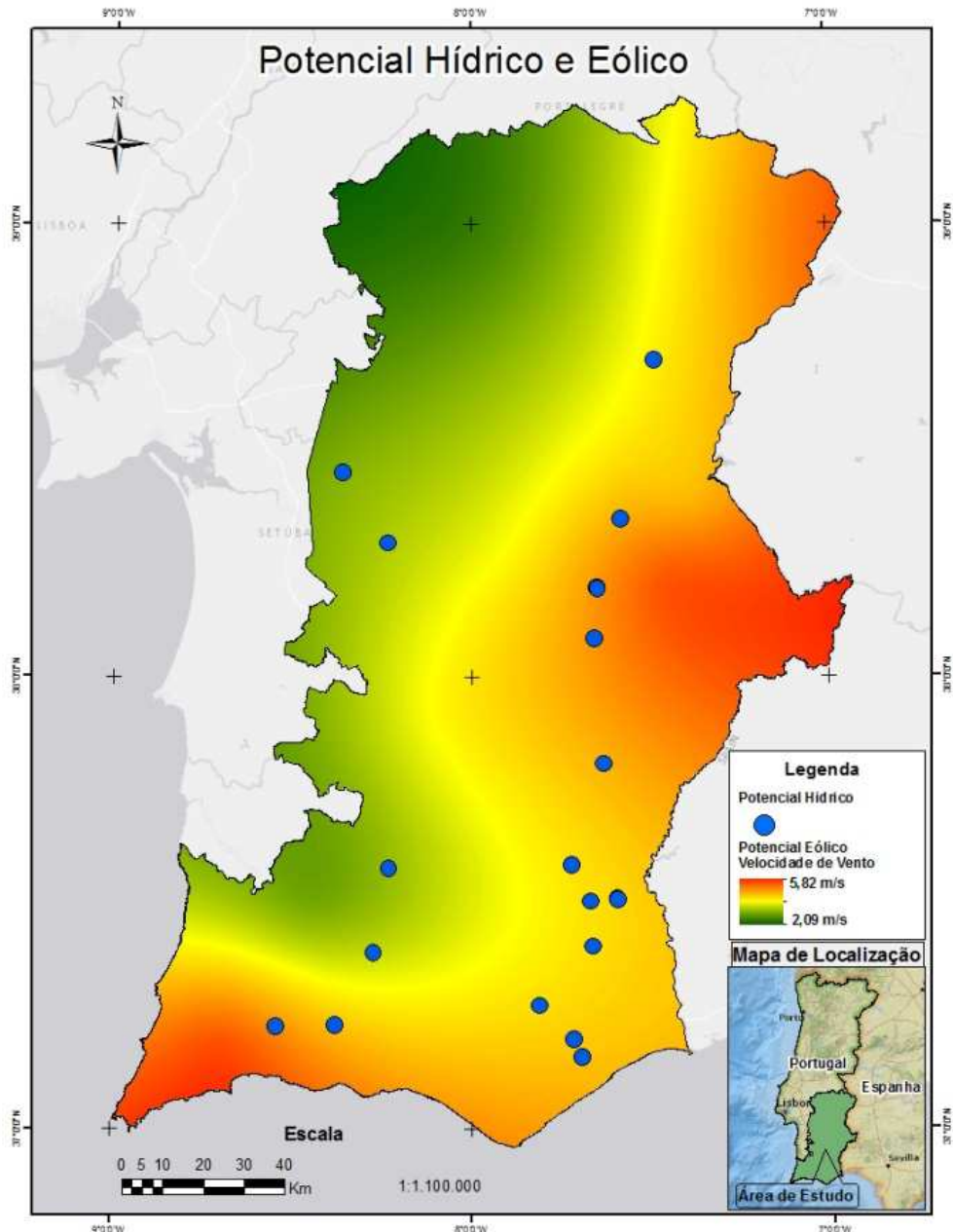


Figura 7 - Potencial Hídrico e Eólico

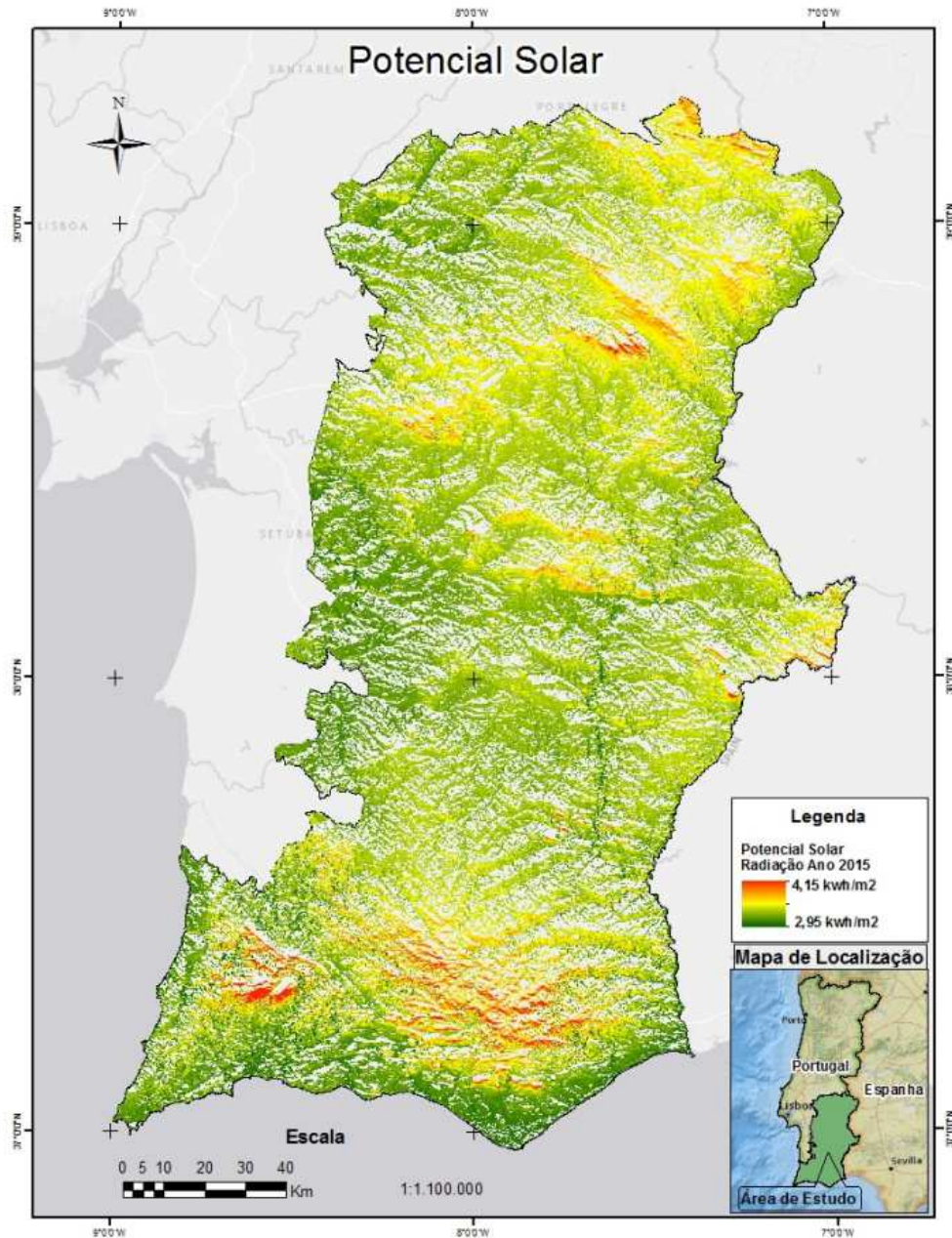


Figura 8 - Potencial Solar

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Conclui-se que todos os objetivos foram atingidos, pois: foram definidas as informações e produtos cartográficos e/ou meteorológicos necessários ao desenvolvimento do modelo; foi produzido um modelo conceitual que estabeleceu um fluxo metodológico de forma a providenciar a identificação de áreas para gerar energia elétrica pelas fontes renováveis hídrica, eólica e solar, independente de software de implementação; foi implementado um modelo lógico/físico em Model Builder que resultou na identificação de possíveis áreas para gerar energia elétrica pelas citadas fontes, com independência de definição prévia de áreas; e o modelo

lógico/físico foi aplicado em uma área de estudo para validação e os consequentes mapas gerados apresentaram resultados satisfatórios.

Considera-se que: o modelo conceitual produzido é de aplicação universal e pode ser reaplicado em qualquer software de SIG; o modelo lógico/físico pode ser implementado em outros programas de SIG, desde que tenham funções/operações análogas, independente de definição de área; a aplicação do modelo lógico/físico em diferentes regiões geográficas, porém, depende de alguns fatores e, necessita que algumas premissas sejam contempladas, como a utilização de MDE, de Imagens de Satélite ou mapas de uso e ocupação do solo de forma rasterizada e de dados/informações provenientes de Estações Meteorológicas.

Este trabalho apresenta resultados parciais de uma pesquisa de pós-doutoramento ocorrida entre os meses de Março de 2015 e Novembro de 2015, realizada em Portugal na Universidade Nova de Lisboa. A bolsa de pós-doutoramento foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) do Brasil.

Agradecimentos

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) do Brasil, pelo subsídio da bolsa de pós-doutoramento.

Eletrosul Eletrobras pela licença remunerada concedida.

Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Nova de Lisboa (CICS.NOVA.FCSH/UNL), UID/SOC/04647/2013, com o apoio financeiro da FCT/MEC através de fundos Nacionais e quando aplicável co-financiado pelo FEDER no âmbito do acordo de parceria PT2020

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª edição. Brasília: ANEEL, 2008. 236 p.

AMARANTE, O. A. C.; SILVA, F. J. L.; ANDRADE, P. E. P. **Atlas Eólico: Espírito Santo**. Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo (ASPE). Vitória, 2009. 100 p.

BORGES, K. A. V.; DAVIS JÚNIOR, C. A.; LAENDER, A. H. F. “Modelagem conceitual de dados geográficos”. in Casanova, M. A.; Câmara, G.; Davis Junior, C. A.; Vinhas, L.; Queiroz, G. R. (Org). **Banco de Dados Geográfico**. MundoGEO: Curitiba, 2005. p. 83 - 136.

BORGES, K. A. V. **Modelagem de dados geográficos: uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas**. Dissertação (Mestrado em Administração Pública). Escola de Governo, Fundação João Pinheiro. Belo Horizonte, 1997. 139 f.

COSME, A. **Projeto em Sistemas de Informação Geográfica**. Lidel – Edições Técnicas, Lda. Lisboa, 2012. 366 p..

CRAVEIRO, G. K. C. **Metodologia para implementação de um Sistema de Informações Geográficas para ambiente urbano**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de



12º Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial
10º Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os países do Mercosul
7º Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os países da América Latina
ISBN 1980 - 4520

Transporte) - Curso de Pós Graduação de Engenharia, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004. 194 f.

ELOY, A. **Energias Sem-fim – Contrariando as Alterações Climáticas**. Edições Colibri. Lisboa, 2009.124 p.

HÜBNER, C. E. **Proposta de gestão de dados cadastrais para gestão sociopatrimonial de empreendimentos de geração de energia hidrelétrica em fase de implantação**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. 339 f.

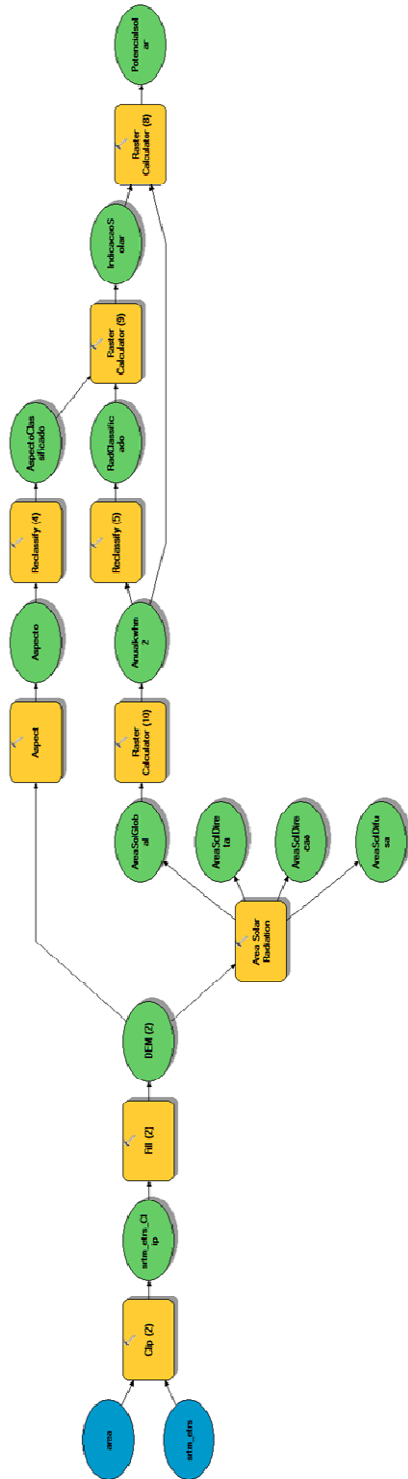
LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C.; HASENACK, H.; WEBER, E. J. “Modelagem conceitual de banco de dados geográficos: o estudo de caso do projeto PADCT/CIAMB”. In: **Carvão e Meio Ambiente**. UFRGS. Porto Alegre, 2000. p. 440 - 458.

MENDES, P. G. **Desenvolvimento de uma aplicação SIG no apoio à gestão da rega: o caso de estudo do Alentejo (Portugal)**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica) Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa. Lisboa, 2013. 147 f.

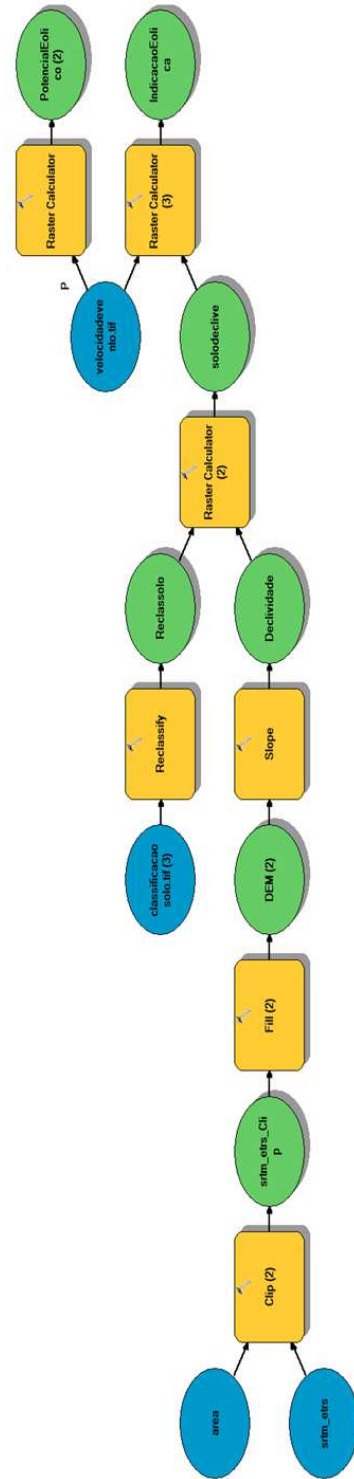
SILVA, V. C. B. **Criando um Model Builder no ArcGIS**. Guest Post. Belo Horizonte, 2015. Disponível em <<http://andersonmedeiros.com/como-criar-model-builder-no-arcgis/>>. Acesso em: 30 set. 2015.

ANEXO

Modelo Lógico/Físico – Energia Solar



Modelo Lógico/Físico – Energia Eólica





12º Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial
10º Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os países do Mercosul
7º Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os países da América Latina
ISBN 1980 - 4520

Modelo Lógico/Físico – Energia Hídrica

