

MODELACIÓN GEOGRÁFICA Y ENERGÍAS RENOVABLES. APLICACIONES PARA SOPORTE DE DECISIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE FUENTES ALTERNATIVAS

Vivian da Silva Celestino¹ & Rui Pedro Julião²
Eletrobras – Eletrosul y Universidade Nova de Lisboa (UNL)

RESUMEN

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es un compromiso global que ha ganado la prevalencia y las fuentes eólica, hidráulica y solar, son cada vez más una alternativa, pero su funcionamiento no es también libre de conflictos. La modelación geográfica surge como una herramienta esencial para determinar cuáles son los terrenos con mayor potencial para la exploración económicamente viable de estas fuentes alternativas sin poner en peligro el medio ambiente. Fueron diseñados y desarrollados modelos conceptuales de análisis espacial, de acuerdo con el estándar de modelación de objetos para aplicaciones geográficas (OMT-G) y modelos operativos en ModelBuilder (tecnología ArcGIS de ESRI). Se llevó a cabo una aplicación de prueba en la región sur de Portugal. En este trabajo se discutirá aspectos clave que son el marco y la pertinencia de la metodología; los principios básicos de la modelación geográfica aplicada a las fuentes renovables; la construcción de modelos conceptuales, lógicos y físicos; y la aplicación. Los resultados permitieron demostrar la viabilidad de la metodología, crear un conjunto de recomendaciones para mejorar las condiciones de aplicación de los modelos y aumentar la calidad de los resultados.

Palabras clave: Energías Renovables; Modelación Geográfica; ModelBuilder; Modelación Conceptual.

GEOGRAPHICAL MODELING TO SUPPORT DECISIONS IN THE IDENTIFICATION OF ALTERNATIVE SOURCES

ABSTRACT

Reducing greenhouse gas emissions is a global commitment that has gained prevalence and wind, hydro and solar, are increasingly an alternative, 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 (ESRI's ArcGIS technology). A test application was carried out in the south region of Portugal. This paper will discuss 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 application. 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.

Key words: Renewable energies; Geographic Modeling; ModelBuilder; Conceptual Modeling.

¹ Eletrobras – Eletrosul. E-mail: viviancart@yahoo.com.br

² Faculdade de Ciências Sociais e Humanas. FCSH/NOVA Universidade Nova de Lisboa (UNL). E-mail: rpi@fch.unl.pt

1. INTRODUÇÃO

A procura de fontes renováveis de energia tem sido incrementada com o objectivo de responder à crescente procura de energia eléctrica 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 de 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 perdas significativas de biodiversidade são apenas dois exemplos da vasta variedade de possíveis consequências. Sem contar que a expectativa é de que, até o final do século XXI, as temperaturas aumentem em média 2° Celsius se não forem tomadas medidas emergenciais para reduzir a emissão dos GEE (ELOY, 2009 e ONUDI, 2013).

O Protocolo de Quioto de 1997 estabelece a redução das emissões das principais substâncias responsáveis pelo aquecimento da atmosfera nos 36 países industrializados que o ratificaram, bem como nos países com economias em transição. O protocolo impôs “objectivos diferenciados” de acordo com os países envolvidos como, por exemplo, de 8% para o conjunto da União Europeia e 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 e espaços, é necessário realizar a compilação de variáveis que sejam também pertinentes aos temas económico, social e financeiro, vinculados a dados e informações da Terra distribuídas de forma espacial. 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 modelação e a visualização de dados georreferenciados para solucionar problemas de planeamento 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. No trabalho de Farina (2009), por exemplo, foi investigada a potencialidade de fontes de energias renováveis, através da geração de valor agregado às atividades com vocação regional de forma a colaborar com a diminuição do impacto ambiental. O resultado obtido foi a elaboração de um produto de SIG representativo do potencial energético da planície costeira do Rio Grande do Sul – Brasil. A autora, entretanto, não apontou localmente em seu método, quais áreas são mais ou menos propensas a receber um projeto de engenharia com vistas à produção eléctrica.

Neste contexto, o objectivo principal deste trabalho é apresentar um método desenvolvido em SIG, a fim de identificar os locais mais apropriados para instalar projectos 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 conceptual universal no padrão *Object Modeling Technique for Geographic Applications* (OMT-G) e um modelo lógico/físico em ModelBuilder (tecnologia ArcGIS da ESRI) para identificar as áreas e; aplicar os modelos produzidos para validação em uma determinada área.

2. ENERGIAS RENOVÁVEIS

No Planeta Terra podem ser encontradas diversos tipos de fontes de energia, podendo essas ser divididas em renováveis ou esgotáveis. De acordo com Eloy (2009), as fontes de energia são esgotáveis quando são armazenadas ou em forma química (combustíveis fósseis) ou em forma termal (geotermia), pois possuem quantidade limitada no Planeta, podendo acabar caso não haja um consumo racional. Já as energias renováveis envolvem grandes fluxos de radiação solar com contínua transferência de energia para a atmosfera, a hidrosfera e a biosfera, e assim, consequentemente, responsável pelos ciclos de vento, de água e de vida e as respectivas

energias que delas resultam.

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, a 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 objecto de um estudo de avaliação de seu impacto social e ambiental, levando em conta não somente as lógicas económicas, mas principalmente as ambientalmente sustentadas (ELOY, 2009).

2.1. ENERGIA HÍDRICA

Dentre as energias renováveis, a energia hidreléctrica é a principal aliada na geração limpa, autóctone e inesgotável, constituindo uma das principais fontes de electricidade (ONUDI, 2013), porém, apresentam um risco ligado à sua dimensão. O banco mundial desde 1997 nos seus relatórios ambientais pronuncia-se contra as grandes barragens por serem económica e ambientalmente um desperdício. Em contrapartida, as pequenas barragens são consideradas, além de um benefício ambiental, uma fonte renovável de energia, desde que sejam corretamente geridas.

Nos anos 1920, a energia hidreléctrica gerada constituía 40% do total produzido mundialmente pelas usinas em seu conjunto. Depois, durante um longo período (50 anos), houve uma queda na construção de pequenas usinas hidreléctricas, dando lugar às grandes usinas hidráulicas que possuíam um maior rendimento económico. Durante a década dos 70, em muitos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento, devido à crise energética mundial, as usinas hidreléctricas de pequena potência atraíram novamente a atenção dos empreendedores.

Em 2008 a produção mundial hídrica foi de 3288 Tera Watt hora (TWh) (IEA, 2009), equivalente a 16,3% da produção total de electricidade global. Em alguns países da América Latina, a fração da energia eléctrica gerada com as usinas hidreléctricas alcança um alto nível: Equador 85%, Peru 79%, Brasil 78,2%, Colômbia 77%. Em outros países, a fração da energia eléctrica é consideravelmente menor: nos Estados Unidos, por exemplo, é de 10%; no Japão, 12,2%; na Espanha, 20%, na Comunidade de Estados Independentes (CEI), 14%. Principalmente porque nestes últimos países a energia gerada é obtida principalmente através da exploração de centrais térmicas (carvão e gás natural) e nucleares.

A energia hídrica é a mais antiga energia utilizada em Portugal para produzir electricidade. Em meados de 2010 existiam cerca de 5000 MW instalados que representavam cerca da metade do potencial nacional. Em um ano hidrológico médio, a energia hídrica representa cerca de 25% do total da electricidade consumida no país (ELOY, 2009). De acordo com Almeida (2005) Portugal tem uma posição modesta, com um aproveitamento de 58% do potencial hídrico explorado. A França, Itália e a Alemanha já têm um aproveitamento praticamente explorado do seu potencial hídrico. A Espanha já aproveitou 85% dos seus recursos, estimados em 42 TWh/ano.

Em grande escala a fonte de energia hídrica tem um campo de expansão limitado devido a aspetos de carácter financeiro, ambiental e social. Em pequena escala (na maior parte dos países com uma potência instalada menor ou igual a 10 MW), a geração hidreléctrica com pequenas usinas oferece possibilidades de crescimento, em razão da diversidade de vazões que ainda são suscetíveis de aproveitamento (ONUDI, 2013) e existem inúmeras vantagens que são compartilhadas entre as pequenas e grandes usinas hidreléctricas, como, por exemplo: constituem uma fonte de energia renovável; possuem tecnologia madura, consolidada e com alto nível de confiança e rendimento; os custos da energia gerada são praticamente independentes dos efeitos inflacionários; constituem uma fonte de energia autóctone e, portanto, seu aproveitamento reduz a vulnerabilidade energética do país com relação aos mercados internacionais de combustíveis fósseis; seus custos de operação e manutenção são relativamente baixos; possuem uma vida relativamente longa; possuem um alto grau de disponibilidade operativa.

De acordo com Cerdeira (2010) em Portugal todas as centrais com potência inferior a 10

MW são designadas como Centrais Mini-Hídricas, sendo a sua maioria exploradas com a utilização da tecnologia a fio d'água. Este limite é geralmente utilizado internacionalmente como fronteira de separação entre as pequenas e as grandes centrais hidrelétricas. As pequenas centrais hidrelétricas (PCH) são consideradas renováveis, enquanto as grandes centrais hidrelétricas, apesar de utilizarem um recurso renovável produzem efeitos sobre o meio ambiente não desprezáveis e, portanto, a sua classificação como renovável é bastante problemática (CAMUS E EUSÉBIO, 2006). No Brasil, para ser considerada uma PCH, a usina deve ter, no máximo, uma área alagada até 1,3 km² e uma altura de queda entre 3 m e 10 m de altura, além da potência instalada estar entre 1,1 MW e 30 MW.

2.2 ENERGIA EÓLICA

A energia dos ventos é considerada uma fonte renovável, amplamente disponível, limpa e com baixo impacto ambiental, principalmente por não emitir resíduos como gás carbônico (os impactos são principalmente relativos ao armazenamento por baterias, troca de óleo e suas possíveis contaminações, por exemplo, e/ou relativos a interferência no fluxo migratório de aves e morcegos). Os países que mais fazem uso dessa energia são a Alemanha, Estados Unidos, Espanha, Índia, China, Dinamarca, Itália, França, Reino Unido e Portugal (AMARANTE et al, 2009), sendo que, em Portugal em 2013, a potência instalada em aproveitamentos eólicos ascendia a 4730 MW.

De acordo com o estudo da Global Wind Energy Council (GWEC), nos últimos 16 anos, a capacidade instalada de geração de energia eólica mundial passou de 6,1 Giga Watt (GW) para 282,4 GW e somente em 2012 a matriz eólica do planeta cresceu 19%.

A evolução da tecnologia permitiu o desenvolvimento de equipamentos mais potentes. No entanto, a densidade do ar, a intensidade, a direção e a velocidade do vento relacionam-se a aspetos geográficos naturais como relevo, vegetação e interações térmicas entre a superfície da terra e a atmosfera. Assim, a exemplo do que ocorre com outras fontes, como a hídrica, a obtenção da energia eólica também pressupõe a existência de condições naturais específicas e favoráveis. A avaliação destas condições – ou do potencial eólico de determinada região – requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime dos ventos (ANEEL, 2008). Nas últimas décadas ocorreu um desenvolvimento vertiginoso de grandes instalações eólicas conectadas à rede elétrica convencional, denominadas, normalmente, de parques eólicos, e atualmente dedica-se muito esforço na implantação de instalações semelhantes no mar (eólica *offshore*) (ONUUDI, 2013).

A energia eólica apresentava em 2009 maior potencial de crescimento no mundo e foi considerada fundamental para o estabelecimento de metas em Portugal, onde a capacidade instalada de energia rondava em dezembro de 2006 os 1700 MW. Normalmente as zonas mais ventosas são as terras altas e as grandes áreas livres sem barreiras. Com a tecnologia atual, a instalação de uma turbina é interessante quando o local estiver sujeito a apenas ventos com velocidade média diária superior a 3,6 m/s, persistentes e regulares e, com baixas intensidades de turbulência (ELOY, 2009).

2.3 ENERGIA SOLAR

A energia solar apresenta-se cada vez mais como uma grande solução energética para o planeta, é uma fonte inesgotável, gratuita e não poluente (ELOY, 2009), pois o Sol é um enorme reator de fusão nuclear formado por uma esfera de matéria gasosa quente de 1,39 milhões de quilômetros de diâmetro, que constitui a principal fonte de energia para a Terra, situada a uma distância média de 149.610,80 km (ONUUDI, 2013).

A energia solar chega à Terra nas formas térmica e luminosa. Essa radiação, porém, não atinge de maneira uniforme toda a crosta terrestre. Depende da latitude, da estação do ano e de condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar. Ao passar pela atmosfera terrestre, a maior parte da energia solar manifesta-se sob a forma de luz visível de raios infravermelhos e ultravioletas. É possível captar essa luz e transformá-la em alguma forma de energia utilizada pelo homem. São os equipamentos utilizados nessa captação 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. Se utilizadas células fotovoltaicas, o resultado será a

electricidade (ANEEL, 2008). Segundo a *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (REN21), os sistemas fotovoltaicos conectados à rede continuaram a ser, em 2006 e 2007, a tecnologia de geração com maior crescimento no mundo (ANEEL, 2008).

O ritmo de crescimento da potência fotovoltaica instalada nos últimos anos superou todas as previsões, demonstrando o potencial desta tecnologia como fonte de energia em todo o mundo. É importante mencionar que a maior parte da potência instalada corresponde às instalações conectadas à rede, contando com 98% da capacidade global, ainda que exista um recente interesse nas instalações isoladas e sistemas de pequena escala principalmente em áreas remotas de difícil acesso e em países em desenvolvimento (ONUDI, 2013). Um sistema fotovoltaico não precisa do brilho do sol para operar. Ele também pode gerar electricidade em dias nublados.

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).

3. MODELAÇÃO GEOGRÁFICA

A modelação geográfica tem vindo a ganhar relevância nos últimos anos, fruto dos desenvolvimentos metodológico e tecnológico. Por um lado 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 projectos de produção e disponibilização de dados veio complementar a oferta e proporcionar o suporte para a implementação e teste dos modelos.

A modelação é o processo de geração de elementos adicionais a partir de conjuntos de dados existentes. Pode englobar diversos universos como o conceptual, o físico e o lógico. Borges et al (2005) distinguem quatro níveis de abstracção para aplicações geográficas: mundo real, representação, apresentação e implementação.

3.1 MODELAÇÃO CONCEPTUAL

A modelação conceptual de dados, de acordo com Hadzilakos et al. (2000), se aproxima do foco dos padrões de intercâmbio de informação geográfica, pois atua na formalização de dados geoespaciais através da resolução de diferenças na base dos modelos de dados, estrutura dos dados, primitivas espaciais e no relacionamento entre diferentes SIG.

Modelação conceptual de dados geográficos é uma representação e organização simplificada de elementos da realidade geográfica com a finalidade de criar aplicações de banco de dados geográficos envolvendo a descrição de conteúdo, a estrutura e as operações. Um esquema conceptual pode descrever dois tipos de dados: gráficos (notações) e semânticos (nomes das classes, dos atributos, multiplicidades das associações, etc.) (HUBNER, 2009).

A modelação conceptual permite o compartilhamento de dados geográficos em um nível semântico e estrutural. Segundo Marino (2001) o nível estrutural se refere ao modelo de dados empregado para definir a estrutura dos dados geográficos num sistema. E o nível semântico trata da representação conceptual dos dados geográficos presentes no sistema, ou seja, permite a compreensão do significado do dado geográfico para um dado sistema (LIMA JÚNIOR, 2002; MEDEIROS e ALENCAR, 1999).

Segundo Lisboa Filho et al (2000) entre os modelos conceituais para dados geográficos mais conhecidos estão os do formalismo orientado à objectos (OO), tais como: GeoOOA, MADS, OMT-G e UML-GeoFrame. Os autores destacam diversas vantagens da modelação conceptual para aplicações geográficas, dentre elas: facilita a execução do projeto lógico; a modelação conceptual independe do *software* no qual o sistema é implementado; facilita a troca de informações entre parceiros de diferentes organizações, uma vez que aumenta a capacidade de entendimento da semântica da informação, facilitando o uso correto da mesma.

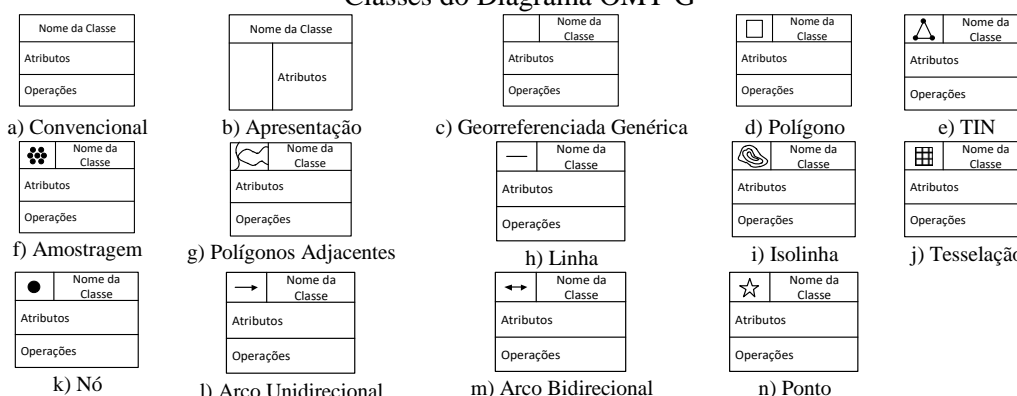
As aplicações geográficas, dentre elas os SIG conferem alguns requisitos específicos de modelação de dados, em função dos aspetos espaciais, temporais e descritivos da informação geográfica. Borges (1997) e Lisboa Filho e Iochpe (1999) apresentam um conjunto de requisitos mínimos que um modelo conceptual de dados para aplicações geográficas deve suportar, como: diferenciar fenômenos geográficos e objectos sem referência espacial e seus relacionamentos;

Modelar dados geográficos nas visões de campo e de objectos; modelar as características espaciais dos dados; representar tanto as relações espaciais (topológicas) e suas propriedades, como também as associações simples e de rede; especificar restrições de integridade espacial; organizar os fenômenos por níveis de informação; modelar as características temporais dos dados e seus relacionamentos; modelar as múltiplas representações (ponto, linha ou polígono) de uma mesma entidade geográfica; modelar a qualidade dos dados (metadados) e ser independente de implementação (*software*).

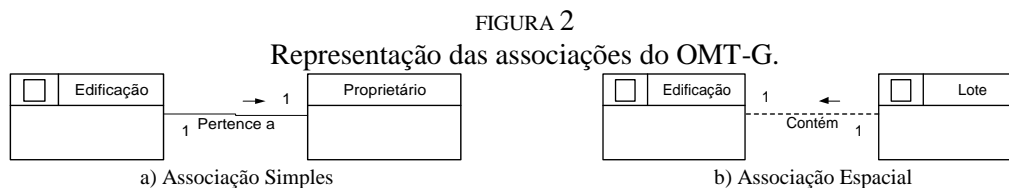
3.1.1 Object Modeling Technique for Geographic Applications (OMT-G)

O OMT-G é uma técnica de modelação 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, 2002). 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 rectângulo, 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 a 1n), as quais são representadas através de um símbolo apropriado na primeira linha do rectângulo.

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 Objecto (composta por entidades geométricas, polígonos, pontos ou linhas, ver figuras 01h, 01i e 01d). 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 direcção 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).



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 MODELAÇÃO LÓGICA/FÍSICA

A modelação lógica é uma representação específica de um modelo interno que utiliza as estruturas específicas suportadas pelo *software* escolhido. É nesta modelação que serão definidos os padrões e nomenclaturas, chaves primárias e estrangeiras, sempre levando em consideração o modelo conceptual criado anteriormente, com dependência de *software*.

O projeto lógico implica na transformação do esquema conceptual em um esquema de dados compatível com tipo de modelo utilizado (relacional, orientado a objectos ou objecto-relacional). Nesta fase é realizado o mapeamento dos conceitos de abstracção utilizados no esquema conceptual em elementos de representação de dados do modelo escolhido (LISBOA FILHO e IOCHPE, 2001, LAGO, 2006).

Já a modelação física apresenta o menor nível de abstracção, 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 necessários para se chegar aos dados, o que o torna dependente tanto de *software* como de *hardware*. No projeto físico são definidos os aspetos de implementação física (tipos de dados, estruturas de armazenamento de arquivos, caminhos de acesso, particionamento, agrupamento, etc.), com base no modelo a ser utilizado, permitindo ao projetista planear aspetos ligados à eficiência (LISBOA FILHO e IOCHPE, 2001).

3.2.1 ModelBuilder

O mapeamento de um esquema conceptual para o esquema lógico e esquema físico pode ser realizado de forma automática por uma ferramenta CASE, que consiste em um *software* de desenho gráfico (PEREIRA e LISBOA FILHO, 2002). O desenvolvimento de aplicações SIG com base no uso de ferramentas CASE reduz tempo e custos de criação do projeto e aumenta a qualidade dos dados, contudo, dificuldades são encontradas no uso destas ferramentas devido aos diferentes modelos de dados adotados pelos *softwares* de SIG. Como não há um modelo padronizado de representação de dados geoespaciais, a qualidade dos dados é comprometida quando da troca de dados entre SIG distintos (LISBOA FILHO et al, 2004).

Para os usuários de ArcGIS existe a opção de desenvolver todo o projeto lógico/físico com a ferramenta ModelBuilder que é uma linguagem de programação visual para a construção de fluxos de trabalho de geoprocessamento. No ModelBuilder os modelos de geoprocessamento podem ser criados e modificados e são representados como diagramas que agrupam sequências de processos e ferramentas de geoprocessamento, utilizando a saída de um processo como a entrada de um outro processo.

De acordo com Cosme (2012) o ModelBuilder é uma ferramenta de apoio essencial na operacionalização dos modelos conceptuais. Trata-se de um instrumento que, muito mais do que permitir o desenho do modelo, testa o procedimento, validando-o e permitindo a sua operacionalização, podendo ser considerado uma ferramenta de programação gráfica que reúne funções de geoprocessamento e permite a elaboração de modelos (processos) que podem ser utilizados em múltiplas ocasiões. O seu uso é vantajoso, pois permite visualizar graficamente a

separação dos processos, os fluxos de informação e seu processamento. Possui ainda como vantagem a utilização de múltiplos contextos, desde a análise multicritério à simulação e parametrização de cenários, bem como a não utilização de códigos para gerar os processos e a execução de novos modelos a qualquer momento a partir de uma predefinição (modificação de parâmetros) para produção de novos resultados.

De acordo com Silva (2015) o ModelBuilder funciona como uma componente do *software* ArcGIS e permite a criação de modelos (representação simplificada e gerenciável da realidade) a partir de fluxos que unem uma sequência de ferramentas necessariamente presentes no *ArcToolbox* e base de dados e, permite tanto criar fluxos de rotina de trabalho quanto novas ferramentas. Sua finalidade é o processamento de grande quantidade de dados em sequência.

4. MODELAÇÃO DE VENTO

As modelações de vento são procedimentos estatísticos efetuados a fim de garantir que as análises relativas ao vento contenham menor nível possível de incerteza na identificação do recurso eólico de cada região. Um dos parâmetros mais importantes para estimar-se corretamente o regime eólico de uma determinada região é o mapa topográfico local do projeto, pois este afeta diretamente a modelação do escoamento de ventos em um parque eólico. Terrenos complexos são áreas de criticidade elevada, visto que qualquer erro na modelação das curvas de nível poderá levar a altos erros nas estimativas de energia (PEREIRA, 2016).

De acordo com o autor a modelação computacional é uma ferramenta de grande importância na avaliação do potencial energético de determinadas regiões. Para obter um maior nível de confiabilidade possível na estimativa de recurso eólico na posição dos aerogeradores em um determinado parque eólico, seria necessária a instalação de uma torre de medição em cada posição de turbina eólica, para medição das condições do vento em cada ponto de interesse. Na etapa de pré-projeto, entretanto, torna-se inviável economicamente e fisicamente a instalação de tantas torres de medição em uma mesma área. Desta forma, para se prever a velocidade do vento em diversos pontos baseando na velocidade medida em um único ponto próximo, se utilizam modelos computacionais. Para um estudo de boa precisão são utilizados *softwares* de microescala que simulam as distribuições de vento causadas pela orografia, rugosidade e obstáculos presentes nos mapas, determinando como seria o comportamento do vento acima da camada limite atmosférica. O vento sem influências é denominado geostrófico. O modelo computacional extrapola horizontalmente o vento geostrófico sem considerar interferências externas em seu perfil. A modelação é finalizada ao incluírem-se os efeitos topográficos, efeitos de rugosidade e efeitos criados por obstáculos para cada posição de interesse das regiões estudadas, individualmente.

Deve ser levada em consideração na modelação a intensidade de turbulência do vento que é definida em um escoamento como a razão do desvio padrão da velocidade do vento e a velocidade média da corrente livre na mesma direção considerada usualmente definida em médias de 10 minutos ou 1 hora (CUSTÓDIO, 2013).

Desta forma, de acordo com Pereira (2016), a intensidade de turbulência pode ser considerada uma flutuação da velocidade de vento numa determinada escala de tempo. A turbulência é gerada principalmente pelo atrito com a superfície terrestre e por efeitos térmicos que podem causar movimentos verticais de massas de ar resultantes das diferenças de temperatura, originando um movimento de células convectivas que por sua vez provocam, em larga escala, vórtices de turbulência (JERVEL, 2008). A intensidade de turbulência tende a decrescer com o aumento da altura.

4.1 WINDOGRAPHER

O *software* Windographer® é uma ferramenta computacional utilizada para modelação de vento, ou seja, realiza o tratamento de dados coletados de estações meteorológicas de superfície e calcula a intensidade e a direção predominante dos ventos num determinado período e obtém o perfil diário, mensal ou anual da sequência de dados. O *software* pode exibir diversos gráficos e tabelas como do perfil logarítmico do vento, direção, médias mensais e diárias. Foi

desenvolvido por Mistaya Engenharia INC e é disponibilizado gratuitamente uma versão de teste válida por um período entre 7 e 14 dias dependendo da versão (LINARD, 2010).

Com o Windographer® também é possível realizar a simulação de velocidades dos ventos em diversas alturas a partir de um pacote de dados medidos em uma única altura. O perfil logarítmico do vento pode ser calculado utilizando a fórmula do perfil logarítmico informando o parâmetro de rugosidade e também pode ser calculado utilizando a fórmula da lei de potência informando o expoente da lei de potência. O mais comum é a simulação da velocidade sintetizada do vento na altura das torres anemométricas (80 m, 100 m ou 150 m), para tanto necessita como *input* da inserção de dados coletados em variadas alturas de velocidade e direção do vento para este cálculo, combinadas das outras séries de dados como temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e velocidade vertical.

O *software* solicita como dados de entrada as variáveis de: latitude, longitude, elevação, data de início, data de término, duração, intervalo de tempo, *Calm threshold* (limiar de calma), temperatura, pressão, umidade relativa do ar, velocidade de vento e direção do vento em diferentes alturas, velocidade vertical, rugosidade, entre outros. O *software* retorna como resultados relatórios em forma de gráficos ou tabelas, de acordo com a listagem do quadro 1.

QUADRO 1
Resultados Apresentados pelo Windographer

| Gráfico ou Tabela | Descrição |
|--------------------------------------|---|
| Perfil Vertical de Vento | Apresenta a velocidade média do vento em várias alturas, bem como o perfil com a função logarítmica que melhor se ajusta a lei de potência. |
| Rosas dos Ventos | Mostra a frequência com que o vento sopra em cada direção. |
| Perfil Mensal de Velocidade de Vento | Apresenta a velocidade média do vento em cada mês do ano para várias alturas. Em conjuntos de dados abrangendo vários anos, as médias mensais incluem valores de todos os anos. |
| Perfil Diurno de Velocidade de Vento | Apresenta a velocidade média do vento para cada hora do dia em várias alturas. |

Fonte - AWS Truepower LLC (2015)

4.2 INTERPOLAÇÃO AUTOMÁTICA

Como as modelações de vento são realizadas individualmente para cada estação, para recobrir uma área com várias estações é necessária a realização de interpolações automáticas a fim de verificar a velocidade média de vento simulada.

A técnica de interpolação da função *Topo to Raster* foi desenhada com o objetivo específico de converter dados vetoriais em modelos hidrológicos de elevação de terreno exatos. O método se utiliza da eficiência computacional da interpolação local, como o *Inverse Distance Weighting* (IDW), sem perder a continuidade superficial dos métodos global de interpolação, como Krigagem e *Spline* (NOGUEIRA E AMARAL, 2009).

No trabalho de Marcuzzo, Andrade e Melo (2011), por exemplo, executou-se um estudo de diferentes tipos de metodologias de interpolação matemática (IDW, Krigagem, *Spline* de Tensão e *Topo to Raster*) na geração de mapas de distribuição espacial de precipitação pluviométrica. Os autores concluíram que, para os dados utilizados a técnica de interpolação que apresentou os melhores resultados, dentre os vários estudados, foi o *Topo to Raster*, pois proporcionou as mais adequadas isoietas e apresentou a grande maioria dos pontos interpolados dentro das isolinhas com os valores pré-estabelecidos, além de possuir maior suavidade das isolinhas e por coincidir melhor com as características altimétricas da região.

No trabalho de Celestino (2014) pode ser verificada a descrição de diferentes interpoladores para diversas finalidades, bem como pode ser verificada a escolha da técnica *Topo to Raster* para realizar interpolações de diferentes curvas de nível para gerar modelos digitais de elevação em detrimento de outros interpoladores.

5. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo definida (ver figura 3) abrange, principalmente, o Alentejo e o Algarve, relativa a área de 26092,78 Km², aproximadamente 30% da área total de Portugal Continental, que se situa no sudoeste da Europa, na zona temperada do Norte, entre as latitudes 32° e 42°

Norte.

No geral o clima de Portugal é mediterrânico, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger. Portugal em sua parte continental, dos países europeus, está entre os que possuem o clima mais ameno, com temperatura média anual variando entre os 4 °C no interior norte montanhoso até os 18 °C no sul, na bacia do Guadiana. Sendo que, na parte sul, o verão é quente e mais longo, com 5 a 6 meses secos e um inverno ameno e pouco chuvoso com menor precipitação. As temperaturas no Sul somente ocasionalmente descem abaixo do 0 °C, permanecendo perto dos 5 °C na maioria dos casos. A precipitação total anual média no Alentejo e Algarve fica em torno de 600 mm.

Normalmente, os meses de Primavera e Verão são ensolarados e as temperaturas são altas. Os meses de Julho e Agosto são secos e as temperaturas ultrapassam os 40 °C, em dias extremos, principalmente, no interior do Alentejo. O país possui em torno de 2500 a 3200 horas de sol por ano, variando suas médias entre 4 e 6 horas de sol no Inverno e entre 10 e 12 horas de sol no Verão, com valores superiores no sudeste e inferiores no noroeste da parte continental.

Em relação a vegetação, ao sul do rio Tejo predomina a vegetação mediterrânica, com espécies arbóreas como a azinheira, o sobreiro, a oliveira e a alfarrobeira.

FIGURA 3
Área de Estudo



FIGURA 4
Estações Meteorológicas



6. MATERIAIS E MÉTODO

Após a identificação da área de estudo foi definida a utilização de determinados materiais bem como foram estabelecidos os procedimentos metodológicos que seriam executados.

6.1 MATERIAIS

Foram definidas a utilização dos seguintes produtos cartográficos/meteorológicos:

- Modelos Digitais de Elevação (MDE) do Space Shuttle Topography Mission (SRTM) com 90 m de *pixel*;
- Imagens LandSat 8 da *United States Geological Survey* (USGS) com 30 m de *pixel*;
- Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007) do Instituto Geográfico Português (IGP);
- Estações Meteorológicas do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) de Portugal. Ver na figura 4 a distribuição das estações meteorológicas utilizadas.

Foram definidas a utilização dos seguintes *softwares*:

- Stencil OMT-G do Microsoft Visio 2010 com parâmetros e estereótipos do modelo OMT-G apresentados no item 3.1.1;
- *Software* Windographer (descrito no ítem 4.1);
- Ferramenta ModelBuilder do *Software* ArcGIS 10.2 (descrita no ítem 3.2.1).

6.2 MÉTODO

Para desenvolver o método proposto foi necessário realizar pesquisas em diferentes fontes bibliográficas e documentais a fim de reunir subsídios para estruturá-lo, bem como delimitá-lo geograficamente e conceptualmente. Foi levada em consideração as demandas mundiais de energia eléctrica, bem como os recursos naturais ainda possíveis de serem explorados. Os procedimentos metodológicos estão descritos a seguir:

- Matrizes de energia eléctrica por fontes renováveis: foram definidas como matrizes de energia eléctrica fontes que estão em ampla utilização e/ou expansão no mercado de energia mundial que, nos últimos anos, tiveram grande impulso devido aos implementos tecnológico e de investigação. Para tanto foram definidas as fontes mais possuidoras de potenciais inesgotáveis, como a solar e a eólica, bem como a hídrica de pequeno formato (PCH), por ainda possuir potenciais cabíveis de ser explorados;
- Informações e produtos cartográficos e/ou meteorológicos: foram considerados fundamentais para qualquer das três fontes definidas, seja hídrica, solar ou eólica, a utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE), donde possam ser derivadas as informações de altitude, inclinação/declividade e aspeto da superfície mapeada. Também são necessárias informações a respeito do uso e ocupação do solo, que podem ser advindas de classificações de imagens de satélite ou de aerofotogrametria ou de bases cartográficas temáticas, para definir as restrições que devem ser levadas em consideração no mapeamento de potencial energético. Para a instalação de empreendimentos eólicos deve ser considerada, ainda, a rugosidade do território. Essenciais para o mapeamento de potencial eólico são os dados meteorológicos/climáticos advindos de estações meteorológicas para gerar, através de métodos isarítmicos, informações contínuas de toda a área mapeada, relativas à: intensidade/velocidade de vento em três alturas diferentes, que deve ser sintetizada em *softwares* específicos para simular a camada de limite final para determinar o potencial eólico na altura do futuro aerogerador; direção de vento obtidos em três alturas diferentes, para geração da rosa dos ventos e da direção de vento predominante; velocidade vertical de vento; umidade relativa do ar; pressão atmosférica e; temperatura;
- Modelo conceptual: foi desenvolvido um modelo conceptual, que consistiu em um desenho/diagrama de classes que descreveu e fixou as regras para a estrutura construída, através da realização da análise do comportamento dos atributos das variáveis geográficas e convencionais do mundo real e a sua representação na forma de classes de objectos e seus respectivos relacionamentos. Foram atribuídos domínios para os tipos de dados de acordo com suas características de armazenamento em meio computacional e estabelecidos os relacionamentos (associações) espaciais e não espaciais entre as classes de objectos, levando em consideração os diversos conceitos utilizados pelo modelo OMT-G. Após a definição das classes primárias fundamentais, foram sendo produzidas as classes secundárias, derivadas seja da superposição, agregação ou a inserção de classes e/ou subclasses primárias e demais informações, bem como operações/funções. Tal estrutura visou à determinação do fluxo a ser seguido para mapear áreas com potencial para geração de energia, ou seja, foram definidos fluxos para as diferentes fontes estudadas, com classes e relacionamentos, donde resultaram, através de operações, classes indicativas do potencial isolado por fonte geradora, seja hídrica, eólica ou solar;
- Modelo lógico/físico: foram reproduzidos os três fluxos metodológicos já modelados conceptualmente no OMT-G para ModelBuilder. A construção deste modelo seguiu a sequência do modelo conceptual. Desta forma foi produzido o fluxo metodológico para

a identificação de áreas com potencial para geração de energia por fonte hídrica (PCH), cujos parâmetros definidos foram considerados para indicar os possíveis locais ideais para se inserir um barramento de 150 m de largura com altura de queda de água de 10 m. Os demais locais foram considerados sem potencial, embora seja possível identificar potenciais com diferentes alturas e larguras de barramento. A seguir foi desenvolvido o fluxo para o potencial eólico onde foram consideradas nulas as velocidades de vento menores do que 3,6 m/s. Com excessão dos dados semânticos relativos à fonte eólica que requeriram modelação prévia em *software* específico de simulação eólica e resultaram em uma classe geográfica de ponto denominada “velocidade de vento sintetizada”, utilizada como dado de entrada no ModelBuilder, toda a construção seguiu o modelo descrito conceptualmente. No modelo conceptual, entretanto, a classe “velocidade de vento sintetizada” foi considerada como secundária pois foi gerada através da agregação da classe geográfica “Estação Meteorológica” com a classe convencional “Dados Meteorológicos”. Após esta etapa foi iniciada a produção do fluxo metodológico para identificação de áreas com potencial solar, seja fotovoltaico ou térmico. Foram indicadas as áreas com maior potencial solar por aspeto, bem como foram atribuídos potenciais, considerando os diferentes Hemisférios para regiões situadas em médias latitudes (regiões tropicais situadas entre 30° e 55° de latitude tanto norte quanto sul). No ModelBuilder todos os dados de entrada foram considerados como classes primárias e os dados de saída foram considerados classes secundárias e assim por diante, dependendo do relacionamento estipulado;

- Aplicação na área de estudo: o modelo físico/lógico produzido foi aplicado na área de estudo: região Centro Sul de Portugal Continental. A região possuía todas as premissas necessárias à aplicação do método, desde o início ao final do fluxo, principalmente, dispunha de estações meteorológicas com dados disponibilizados via internet. No final foi possível identificar as áreas com potencial para gerar energia pelas fontes hídrica, eólica e solar.

7. RESULTADOS

O desenvolvimento do modelo e sua aplicação permitiu apresentar resultados em três planos distintos: o modelo conceptual; o modelo lógico/físico e a concretização da sua aplicação na área de estudo na forma de mapas.

7.1 MODELO CONCEPTUAL

O processo de construção do modelo conceptual iniciou-se pela identificação dos objectos geográficos e convencionais do tema e o seu agrupamento em classes. As classes de fenómenos geográficos receberam representação conceptual conforme a visão de campos com as primitivas geométricas de ponto e tesselação. Após foi realizada a modelação dos atributos espaciais e convencionais de cada classe de objectos, onde foram atribuídos domínios para os tipos de dados: *String* (Alfanumérico), *Boolean*, *Float* (Decimal) e *Date*. Como resultado obteve-se um total de 36 classes, sendo 34 geográficas e 2 convencionais. Ver exemplos nas figuras 5a e 5b, onde podem ser observados os relacionamentos entre as classes de objectos, bem como a cardinalidade “um para um” de forma subentendida, donde resultaram classes secundárias, também pelo uso de operações. O modelo conceptual apresenta-se, seccionado por grupos temáticos de energia por geração hídrica, eólica e solar nas figuras 6, 7 e 8, respectivamente.

FIGURA 5a
Classe Primária Convencional, Associação Simples

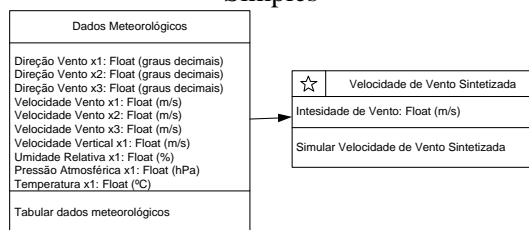
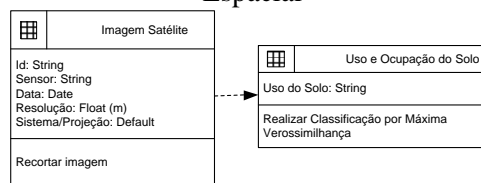


FIGURA 5b
Classe Primária Geográfica, Associação Espacial



7.2 MODELO LÓGICO/FÍSICO

Nesta etapa foi realizada a implementação do modelo lógico/físico em ModelBuilder, onde foi produzido o fluxo para a identificação de áreas com potencial hídrico (PCH) (figura 9).

Para a identificação de áreas com potencial eólico foram utilizados os dados das estações meteorológicas (figura 4) para modelar (simular) a camada de limite final (altitude do aerogerador), com os atributos já descritos no item 6.2. Os dados de velocidade média de cada altura da estação meteorológica foram tabulados em Excel e após foram exportados para o Windographer que permitiu a extração da velocidade do vento simulada na altura de 80 m.

Os dados originais de velocidade média de vento, bem como da velocidade simulada para 80 m, para cada estação meteorológica estão sendo apresentados no quadro 2. Foram necessários utilizar também, para a simulação, os dados relativos à altitude da estação, coordenadas planimétricas, data e hora de início da coleta e período de repetição dos dados (frequência). Foram utilizadas todas as informações horárias de velocidade de vento disponíveis para cada estação, não necessariamente foram utilizados o mesmo período de tempo para todo o conjunto. O que ocasiona uma grande limitação à análise da velocidade média de vento. No quadro 2 pode ser observado que os dados médios de velocidade de vento não possuem um aumento de velocidade diretamente proporcional conforme aumenta a altura da coleta para todas as estações. Esta modificação nas velocidades de vento pode ser atribuída às diferentes intensidades de turbulência descritas no capítulo 4.

QUADRO 2
Velocidade Média de Vento por Estação Meteorológica

| Estação Meteorológica | Velocidade Média de Vento (m/s) | | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|------------|------------|------------|-------------|
| | Período de coleta | Altura 0 m | Altura 5 m | Altura 8 m | Altura 80 m |
| Albufeira do Maranhão | 13/02/2005 - 25/07/2007 | 1,473 | 1,567 | 1,44 | 2,474 |
| Albufeira de Santa Clara | 15/04/2004 - 18/10/2007 | 1,861 | 1,975 | 1,920 | 2,907 |
| Albufeira de Pego do Altar | 01/09/2003 - 19/10/2007 | 1,194 | 1,132 | 1,302 | 3,105 |
| Albufeira do Alvito | 19/11/2003 - 25/09/2007 | 2,736 | 2,917 | 2,923 | 3,933 |
| Albufeira do Roxo | 26/07/2003 - 13/03/2007 | 1,802 | 1,857 | 1,943 | 4,063 |
| Albufeira de Odeleite | 04/09/2003 - 28/11/2007 | 2,586 | 2,503 | 2,581 | 4,438 |
| Albufeira do Alqueva (Mourão) | 07/04/2005 - 19/09/2007 | 3,000 | 2,990 | 3,163 | 4,543 |
| Albufeira do Caia | 10/10/2003 - 17/12/2006 | 2,786 | 2,982 | 3,185 | 5,013 |
| Albufeira do Alqueva | 13/09/2002 - 27/04/2009 | 2,766 | 2,689 | 2,868 | 5,482 |
| Albufeira da Bravura | 02/09/2003 - 30/07/2008 | 3,210 | 3,137 | 3,361 | 5,496 |

Após a simulação da altura do aerogerador para cada estação, realizou-se a exportação das mesmas para o *software* ArcGIS 10.2 donde se interpolou, utilizando o interpolador *Topo to Raster* (descrito no item 4.2), as informações de velocidade de vento simulada, para as demais áreas de abrangência. O modelo resultante rasterizado foi introduzido no fluxo metodológico proposto em ModelBuilder. A figura 10 ilustra o modelo lógico/físico da geração eólica.

Para a construção do fluxo de energia solar ficou definida a utilização de faces de acordo

com o caminhamento do sol como parâmetros para captação solar. Como as variáveis mudam de acordo com a localização geográfica da área a ser estudada foram definidas como faces de sol as orientações do relevo com aspeto voltado para cima (*flat*) com potencial excelente, sul com potencial altíssimo, sudeste e sudoeste com potencial alto, leste e oeste com potencial médio, nordeste e noroeste com potencial baixo e norte com potencial nulo (considerando a localização geográfica de Portugal). A figura 11 ilustra o modelo lógico/físico da geração solar.

Com exceção da modelação eólica e de algumas ferramentas que funcionam fora do *Toolbox* do ArcGIS (como por exemplo o NDVI), todas as demais operações definidas no modelo conceptual foram implementadas no ModelBuilder do ArcGIS 10.2 para testar o modelo conceptual proposto. Foram utilizadas, para tanto, as seguintes operações: *topo to raster*, *clip*, *fill*, *flow direction*, *flow accumulation*, *conditional*, *raster calculator*, *focal statistics*, *reclassify*, *snap pour point*, *slope*, *aspect*, *buffer*, *raster to point*, *polygon to raster*, *train maximum likelihood classifier*, *watershed* e *area solar radiation*.

FIGURA 6
Modelo Conceptual da Geração Hídrica

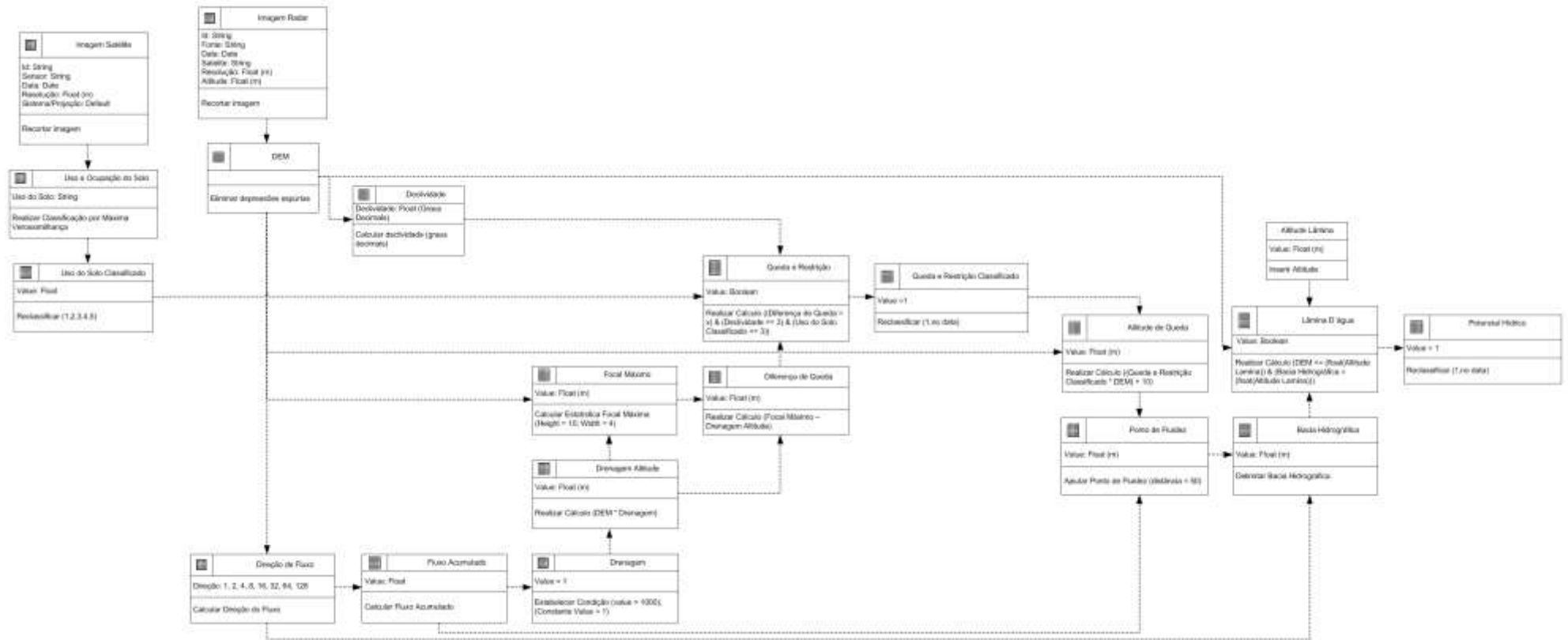


FIGURA 7
Modelo Conceptual da Geração Eólica

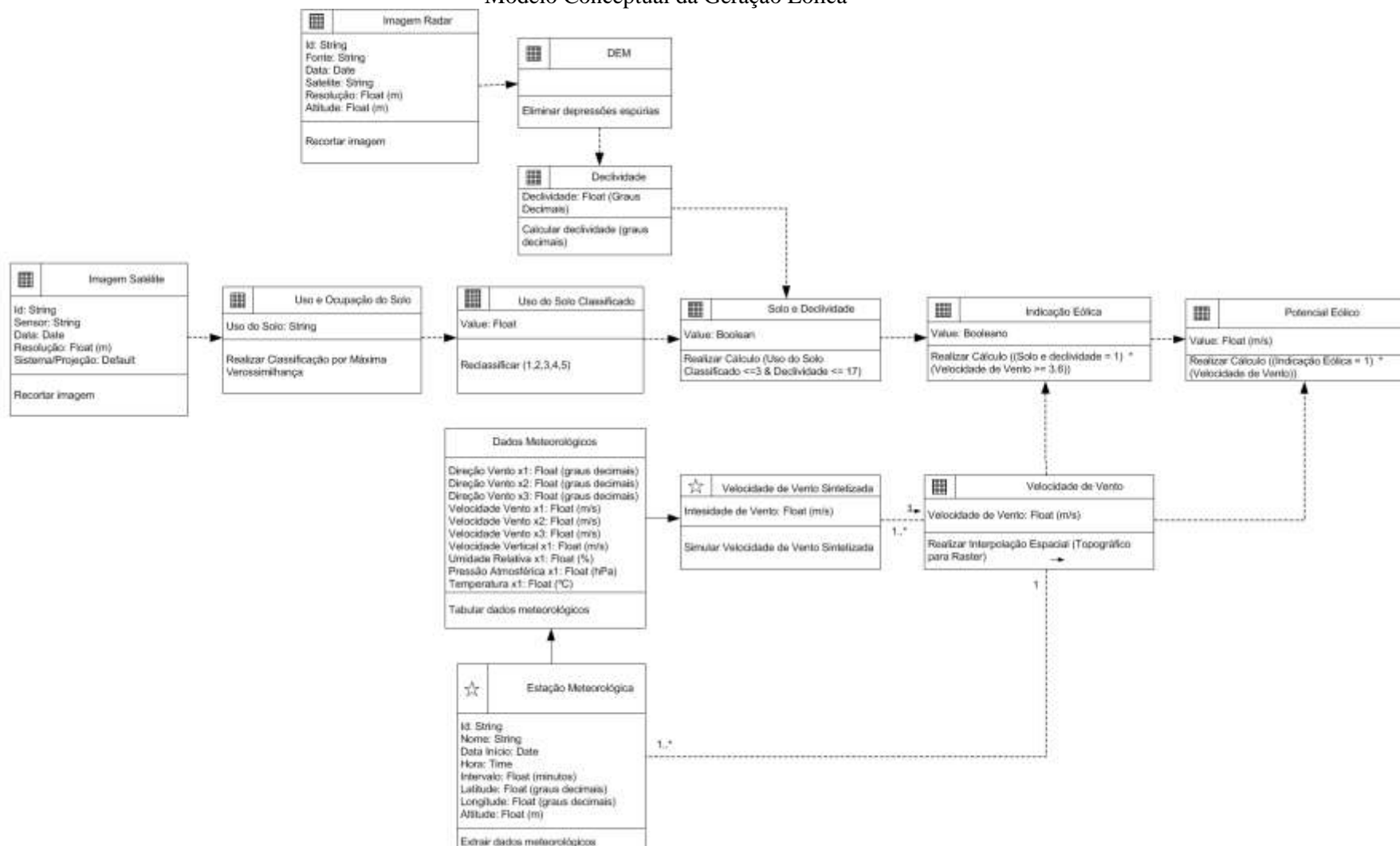


FIGURA 8
Modelo Conceptual da Geração Solar

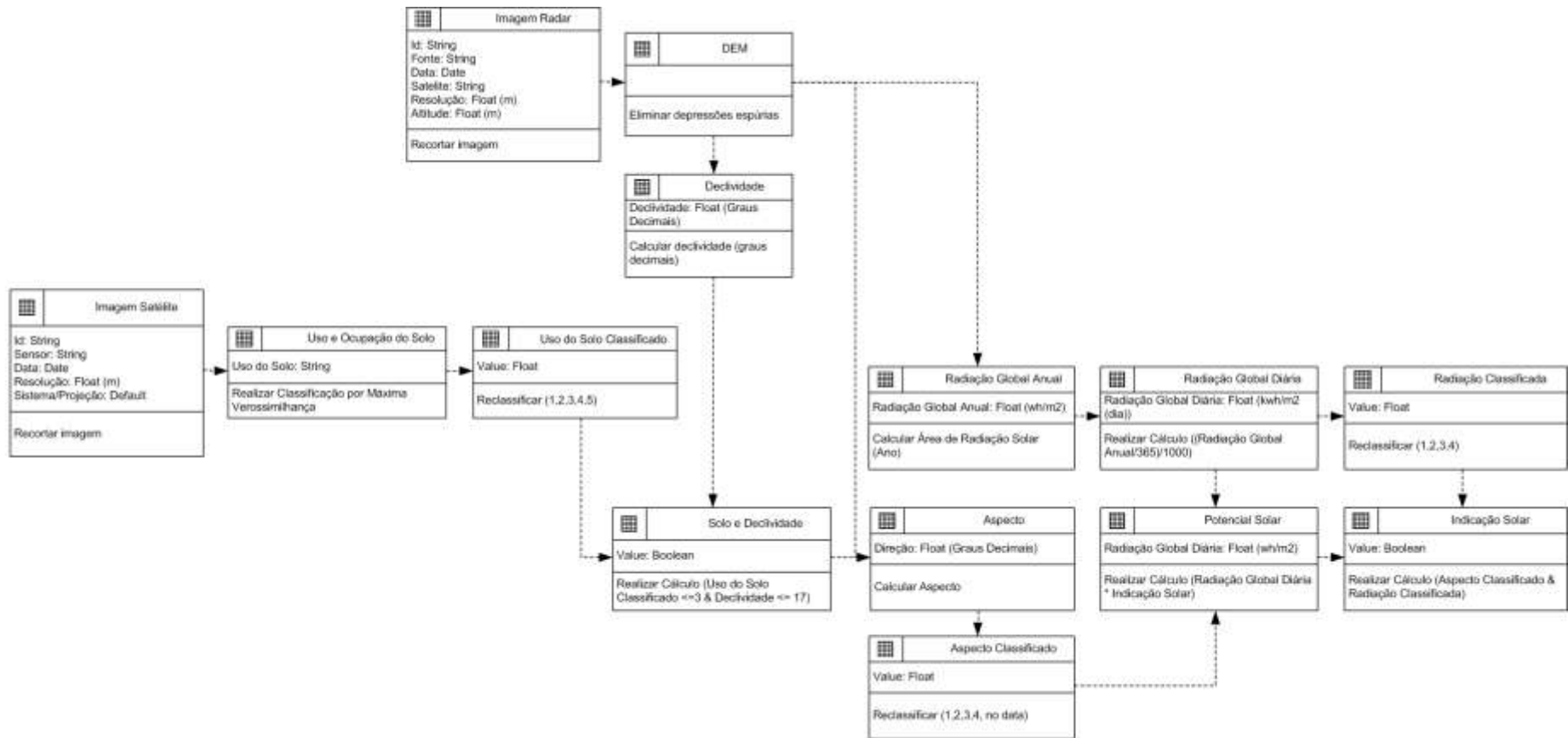


FIGURA 9
Modelo Lógico/Físico da Geração Hídrica

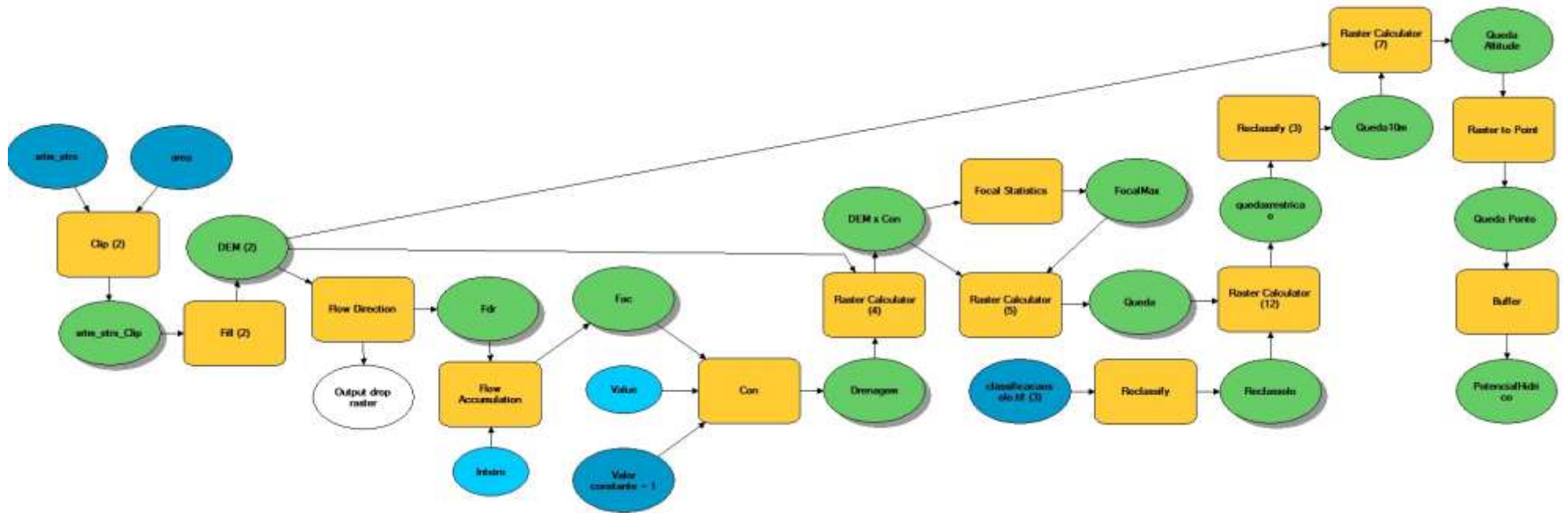


FIGURA 10
Modelo Lógico/Físico da Geração Eólica

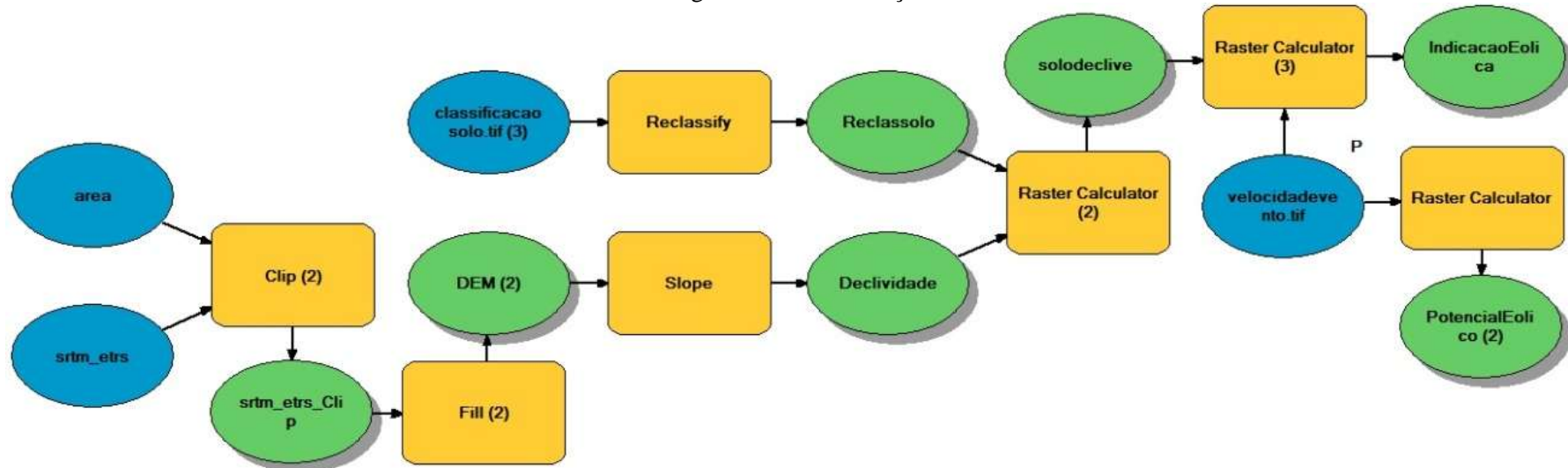
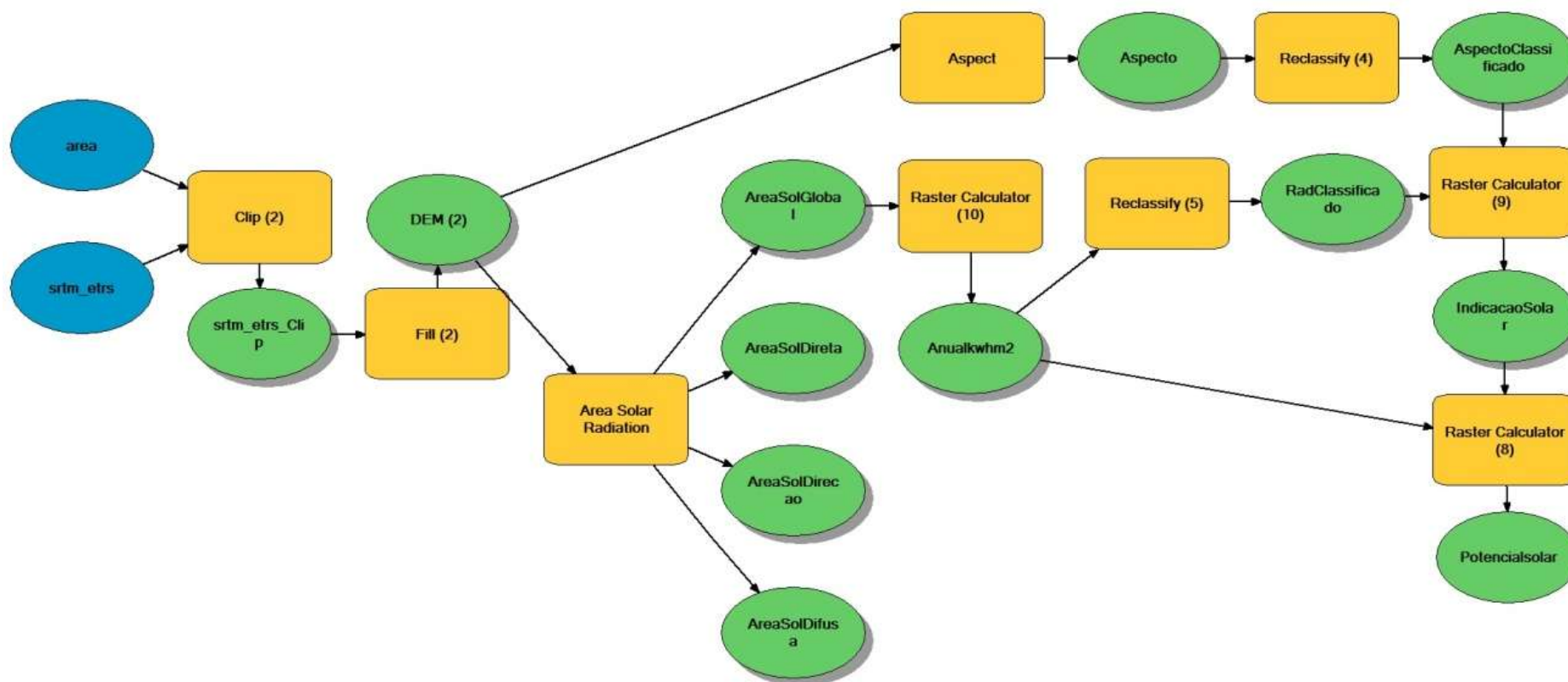


FIGURA 11
Modelo Lógico/Físico da Geração Solar



7.3 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 produzidos mapas que identificaram as áreas com potencial para gerar energia pelas fontes renováveis definidas: hídrica, eólica e solar.

Na figura 12 pode ser observada a indicação espacial, através dos círculos azuis, de 17 locais com possíveis potenciais para instalação de empreendimentos para gerar energia através da fonte hídrica, especificamente, PCH com barramento de 150 m e altura de queda de 10 m (embora tenham sido verificadas 4780 locais com quedas de água entre 1 e 61 m em toda a área de estudo, sem se levar em consideração as restrições). Os 17 locais considerados apropriados se distribuíram nos seguintes distritos: 6 no Algarve, 6 em Beja, 2 na divisa entre os distritos de Beja e Faro (Algarve), 2 em Setúbal e 1 em Évora.

Em relação ao potencial eólico, é possível observar na figura 13 os potenciais calculados, considerando a velocidade média de vento em uma altura simulada de 80 m. Ver a descrição dos resultados no quadro 3. A mínima velocidade de vento identificada em toda a área de estudo foi de 2,095 m/s no Concelho de Santarém e a máxima foi de 5,821 m/s no Concelho de Beja, próximo da divisa com a Espanha. As regiões destacadas em vermelho, nos Concelhos de Beja, Sagres e Portalegre correspondem, neste estudo, aos maiores potenciais eólicos verificados, com valores entre 5,266 e 5,821 m/s.

Na figura 13 pode ser verificado que as áreas identificadas em cinza possuem velocidade de vento inferior a 3,6 m/s ou algum tipo de restrição e não são propícias para a instalação de empreendimentos eólicos (aproximadamente 48% da área de acordo com o quadro 3).

FIGURA 12
Potencial hídrico

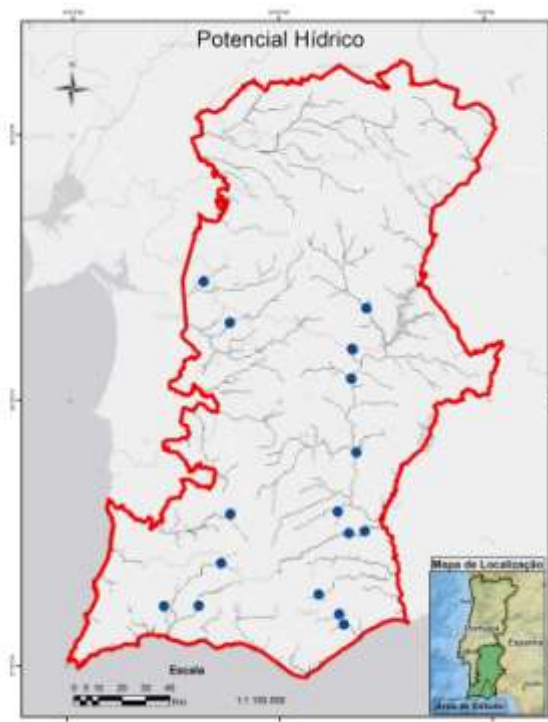
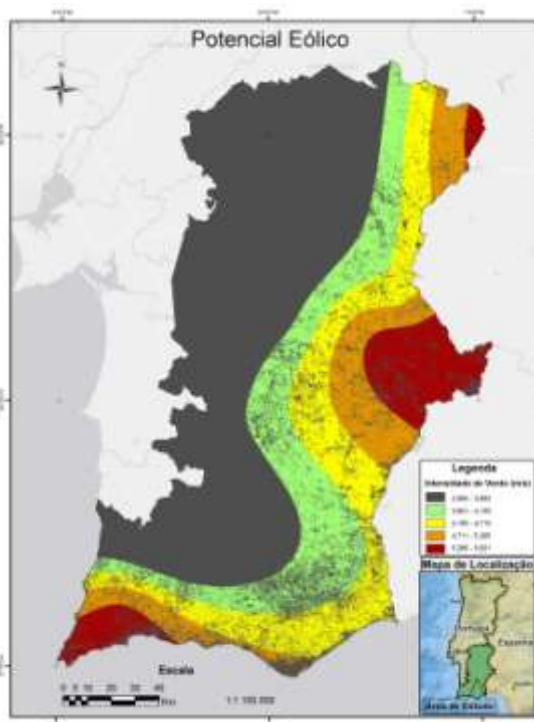


FIGURA 13
Potencial eólico



QUADRO 3
Velocidade de Vento Simulada para 80 m

| Velocidade de Vento (m/s) | Cor no mapa | Área (ha) | Área (%) |
|----------------------------------|----------------|------------|----------|
| Entre 2,095 e 3,600 ou restrição | Cinza | 1241915,82 | 47,60 |
| Entre 3,601 e 4,155 | Amarelo | 419538,53 | 16,08 |
| Entre 4,156 e 4,710 | Laranja claro | 530937,08 | 20,35 |
| Entre 4,711 e 5,265 | Laranja escuro | 246596,79 | 9,45 |
| Entre 5,266 e 5,821 | Vermelho | 170289,78 | 6,53 |

Em relação à energia solar, primeiramente, é apresentado no quadro 4, o quantitativo de faces de sol/aspecto geográfico da área de estudo calculado, para verificação, *a priori*, do potencial solar por aspecto.

QUADRO 4
Pesos por aspecto da área de estudo – faces de sol

| Aspecto/Faces de Sol | Potencial | Área (ha) | Área (%) |
|----------------------|-----------|-----------|----------|
| Flat | Excelente | 20863,73 | 0,80 |
| Sul | Altíssimo | 355047,37 | 13,61 |
| Sudoeste | Alto | 378703,07 | 14,51 |
| Sudeste | Alto | 299620,10 | 11,48 |
| Oeste | Médio | 327511,73 | 12,55 |
| Leste | Médio | 289176,23 | 11,08 |
| Nordeste | Baixo | 328351,72 | 12,58 |
| Noroeste | Baixo | 302452,06 | 11,59 |
| Norte | Nulo | 307551,99 | 11,79 |

De acordo com os resultados apresentados no quadro 4, aproximadamente 88% da região investigada possui algum potencial solar *a priori* devido ao seu posicionamento em relação ao sol, com potencial solar por aspecto entre baixo e excelente. A face voltada para norte corresponde a aproximadamente 12% da área e não possui potencial solar.

A priori, as faces de sol flat e orientadas a sudoeste, sudeste e sul, correspondem aos maiores potenciais atribuídos. Merece destaque a orientação a Sudoeste que corresponde a quase 15% do total da área, devido a localização geográfica de Portugal.

Com base nos potenciais atribuídos, aproximadamente 40% da área pesquisada possui potencial solar com potencial entre médio e excelente e 48% possui também potencial, porém, entre baixo e médio.

Foi utilizada a função *Area Solar Radiation* do ArcGIS para calcular a radiação global da área de estudo. Esta função utiliza como dado de entrada um MDE (já descrito no item 5.1). Foram inseridos como parâmetros: o ano de 2015; 14 h de radiação diária; frequência de 30 minutos; latitude geográfica média de 38,12° N; resolução do sky sise de 200; fator de difusão 0,3; transmissividade de 0,5 e; tipo de modelo de difusão céu uniforme.

A radiação calculada global retorna o valor total acumulado no ano, então foi realizado cálculo para obter o valor médio diário da radiação em kwh/m^2 utilizando a calculadora *raster calculator*. Foram obtidos valores diários globais médios absolutos de radiação para o ano de 2015 entre 2,788 e 4,152 kwh/m^2 . Ver figura 14 e a descrição dos resultados no quadro 5, onde pode ser verificado que a função utilizada para calcular a radiação global utiliza a área como um todo e não leva em consideração as faces de sol. De acordo com este resultado toda a área possui potencial solar.

Para melhor representação da realidade do potencial solar foram consideradas as faces de sol para serem analisadas em conjunto com os valores de radiação global absoluta calculada. O resultado do potencial solar global relativo, levando em consideração o aspecto, é apresentado na figura 15 e no quadro 6, onde pode ser verificado que as áreas identificadas em cinza não possuem potencial solar devido ao seu aspecto (face norte). Isso corresponde a aproximadamente 12% da área pesquisada.

No restante da área foi identificado potencial solar entre baixo e excelente em toda a região, aproximadamente 88% da área, com radiações estimadas entre 2,855 e 4,152 kwh/m^2 (média diária para o ano de 2015). Para investigação do potencial solar não foi levada em consideração nenhum tipo de restrição, supondo-se que as instalações solar térmicas e/ou fotovoltaicas podem ser utilizadas em ambientes urbanos (telhados), bem como, inclusive, em albufeiras.

QUADRO 5

Radiação solar global absoluta - média diária para o ano de 2015

| Radiação (kwh/m ²) | Cor no mapa | Área (ha) | Área (%) |
|--------------------------------|----------------|-----------|----------|
| Entre 2,788 e 3,328 | Cinza | 47323,38 | 1,81 |
| Entre 3,329 e 3,440 | Verde | 308115,99 | 11,81 |
| Entre 3,441 e 3,499 | Amarelo | 819333,32 | 31,40 |
| Entre 3,500 e 3,558 | Laranja Claro | 969263,37 | 37,15 |
| Entre 3,559 e 3,649 | Laranja Escuro | 388586,94 | 14,89 |
| Entre 3,650 e 4,152 | Vermelho | 76655,00 | 2,94 |

QUADRO 6

Radiação solar global relativa - média diária para o ano de 2015

| Radiação (kwh/m ²) | Cor no mapa | Área (ha) | Área (%) |
|--------------------------------|----------------|------------|----------|
| Sem potencial | Cinza | 307551,99 | 11,79 |
| Entre 2,855 e 3,115 | Verde | 1203,98 | 0,05 |
| Entre 3,116 e 3,374 | Amarelo | 50335,34 | 1,93 |
| Entre 3,375 e 3,633 | Laranja Claro | 2148652,00 | 82,35 |
| Entre 3,634 e 3,892 | Laranja Escuro | 100394,69 | 3,85 |
| Entre 3,893 e 4,152 | Vermelho | 1139,99 | 0,04 |

FIGURA 14

Radiação solar global absoluta – Média diária para o ano de 2015

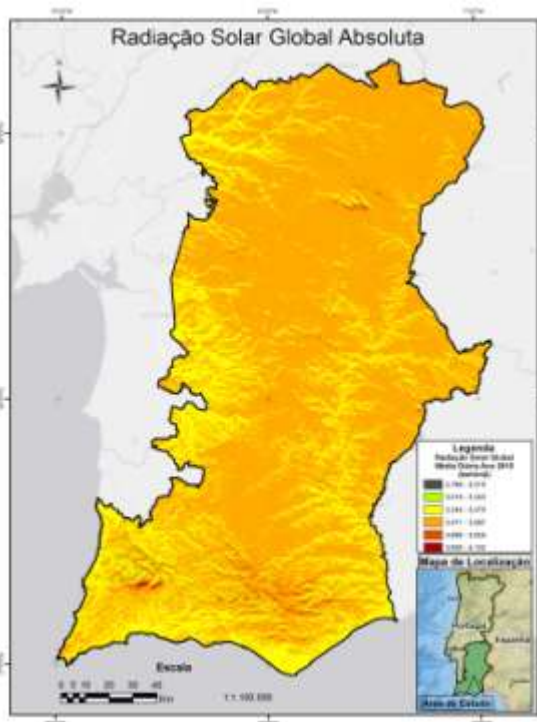
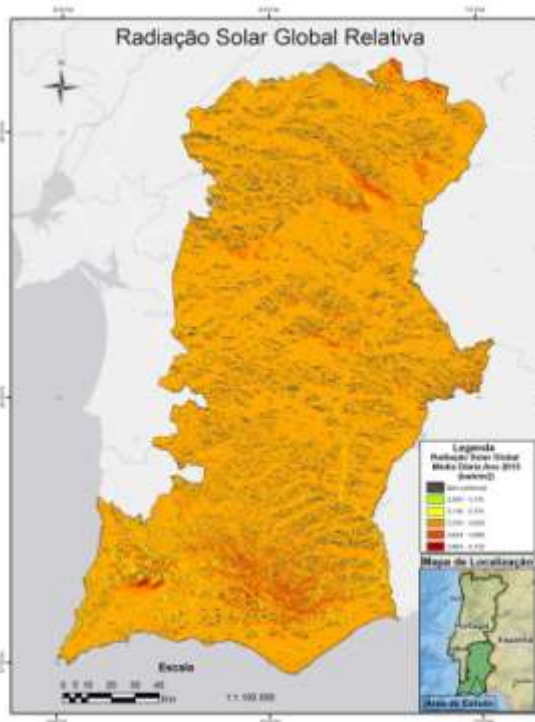


FIGURA 15

Radiação solar global relativa – Média diária para o ano de 2015



8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclui-se que todos os objectivos foram atingidos, pois: foram definidas as informações e produtos cartográficos e/ou meteorológicos necessários ao desenvolvimento do modelo; foi produzido um modelo conceptual que estabeleceu um fluxo metodológico de forma a providenciar a identificação de áreas para gerar energia eléctrica pelas fontes renováveis hídrica, eólica e solar, independente de *software* de implementação; foi implementado um modelo lógico/físico em ModelBuilder que resultou na identificação de possíveis áreas para gerar energia eléctrica 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, apontado os potenciais respectivos às matrizes pesquisadas. Sendo considerado baixo o potencial hídrico da região, médio o potencial

eólico e alto o potencial solar.

Considera-se que: o modelo conceptual produzido é de aplicação universal e pode ser reaplicado em qualquer *software* de SIG; o modelo lógico/físico depende de *software* e sistema e pode ser implementado em outros programas de SIG, desde que tenham funções/operações análogas; a aplicação do modelo lógico/físico em diferentes regiões geográficas, porém, depende de alguns factores 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.

Em relação ao potencial hídrico da região conclui-se que o potencial é pequeno, pois foram identificados somente 17 locais apropriados para instalação de PCH com 10 m de queda de água. Este resultado converge com os resultados publicados por Cerdeira (2010), de que o potencial hídrico do Sul de Portugal Continental é realmente muito pequeno, principalmente devido às poucas diferenças de altitude, necessárias para instalação de empreendimentos hídricos. O autor verificou potenciais de aproximadamente 5% nos distritos de Beja e Setúbal, 10% nos distritos de Algarve e Évora e de 15% no distrito de Portalegre.

Em relação ao potencial eólico da região conclui-se que o potencial é mediano, porque 47 % da região não possui velocidade de vento suficiente para instalação de torres ou possui alguma restrição de natureza diversa (urbana, declividade, rugosidade, entre outros). A região de Sagres foi identificada como uma das maiores regiões com potencial eólico e corresponde ao maior potencial eólico também verificado para Portugal Continental, de acordo com os resultados publicados por Costa (2004) relativo à velocidade média anual simulada para 80 m para todas as direcções de vento.

Em relação ao potencial solar da região conclui-se que o potencial é alto para instalação de equipamentos solares, sejam térmicos ou fotovoltaicos, pois mais de 88% da região possui algum potencial solar, devido, principalmente ao relevo e à situação geográfica de Portugal, bem como ao grande número de horas de sol por ano.

Recomenda-se em relação potencial hídrico, a realização de estudos específicos para verificar os potenciais pluviométricos e fluviométricos relacionados e melhorar o modelo produzido em ModelBuilder para considerar estes factores no cálculo do fluxo acumulado, bem como realizar pesquisas mais aprofundadas para verificar se realmente a região possui baixo potencial hídrico ou se o mesmo está mascarado pelo grande número de albufeiras existentes que foram consideradas como restrições neste trabalho (Caso do maior lago artificial da Europa – Alqueva situado na área de estudo).

Recomenda-se em relação ao potencial eólico, a realização de estudos aprofundados, principalmente, a utilização de um maior número de estações meteorológicas, bem como a utilização de séries históricas de dados para maior confiabilidade das interpolações de velocidade de vento, pois percebe-se que mesmo com a utilização de um interpolador seguro como o *Topo to Raster*, alguns dados podem ter sido extrapolados, principalmente os altos valores de velocidade de vento percebidos em Portalegre e Beja. Recomenda-se também, além do aumento do número de estações, a realização de estudos que levem em consideração o regime e a direcção dos ventos.

Para as áreas com potencial solar, identificadas neste trabalho recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados em relação ao tipo de equipamento a ser instalado (térmico para aquecimento de fluídos ou fotovoltaico para geração de energia eléctrica), bem como a utilização de outros modelos com maiores resoluções, como os Modelos Digitais de Superfícies (MDS) advindos de levantamentos à laser ou de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), para validação e aprimoramento dos resultados.

Recomenda-se ainda que, para aplicações deste modelo geográfico em outras regiões do globo terrestre, as seguintes premissas sejam levadas em consideração *a priori*:

- Geração hídrica: existencia de MDE e respectivas diferenças de altitude, estudo das restrições que devem ser consideradas, informações sobre chuvas e vazões;
- Geração eólica: existência de estações meteorológicas em maior número do que as apresentadas neste trabalho e que apresente distribuição espacial homogênea, bem como com atributos suficientes para simular a altura do aerogerador (de acordo com a descrição de atributos do quadro 1);

- Geração solar: existência de MDE e MDS, configuração de parâmetros para o hemisfério, latitude e aspeto do local, bem como verificação do número de horas de sol por ano, nebulosidade e chuvas.

9. AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) do Brasil, órgão de fomento brasileiro financiador da bolsa de pesquisa de pós-doutoramento ocorrida entre os meses de Março a Novembro de 2015, realizada em Portugal na Universidade Nova de Lisboa.

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.

10. BIBLIOGRAFIA

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉCTRICA – ANEEL (2008): *Atlas de energia eléctrica do Brasil*. 3ª edição. Brasília: ANEEL.
- ALMEIDA, A. T. (2005): *Aproveitamentos Hídricos para Fins Múltiplos*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra.
- AMARANTE, O. A. C.; SILVA, F. J. L.; ANDRADE, P. E. P. (2009): *Atlas Eólico: Espírito Santo*. Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo (ASPE). Vitória.
- AWS TRUEPOWER LLC. (2015): *AWS TRUEPOWER LLC*. Disponível em <https://www.windographer.com>. [Consulta em: 01 de junho de 2015].
- BORGES, K. A. V.; DAVIS JÚNIOR, C. A.; LAENDER, A. H. F. (2005): *Modelagem conceptual 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. 83 - 136.
- BORGES, K. A.V. (1997): *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.
- CAMUS, C., EUSÉBIO, E. (2006): *Gestão de Energia - Energia Mini-Hídrica*. ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. DEEA – Secção de Economia e Gestão. Disponível em: <http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/ccamus/Doc/ENERGIAS3.pdf>. [Consulta em: 06 de janeiro de 2017].
- CELESTINO, V. S. (2014): *Considerações sobre a qualidade altimétrica para projetos de usinas hidrelétricas*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 348 f.
- CERDEIRA, S. J. C. B. (2010): *Avaliação Regional do Potencial Mini-Hídrico Através de Sistemas de Informação Geográfica*. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia). Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto.
- COSME, A. (2012): *Projeto em Sistemas de Informação Geográfica*. Lidel – Edições Técnicas, Lda. Lisboa.
- COSTA, P. A. S. (2004): *Atlas do Potencial Eólico para Portugal Continental*. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra). Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. Lisboa.
- CRAVEIRO, G. K. C. (2004): *Metodologia para implementação de um Sistema de Informações Geográficas para ambiente urbano*. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transporte) - Curso de Pós Graduação de Engenharia, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- CUSTÓDIO, R. S. (2013): *Energia eólica para produção de energia eléctrica*. 2.º ed. Synergia Editora: Rio de Janeiro. 319 p.

- ELOY, A. (2009): *Energias Sem-fim – Contrariando as Alterações Climáticas*. Edições Colibri. Lisboa.
- FARINA, F. C. (2009): *Sistema de Informação Geográfica (SIG) estratégico do potencial energético renovável da Planície Costeira Norte do RS*. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- HADZILAKOS, T. HALARIS, G.; KAVOURAS, M.; KOKLA, M.; PANOPOULOS, G.; PARASHAKIS, J.; TIMOS, S.; TSOULOS, L.; MICHALIS, Z. (2000): *Interoperability and definition, of a national standard for geospatial data: the case of the Hellenic Cadastre*. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation. [S.l.], v. 2, n. 2. p. 120-128.
- HÜBNER, C. E. (2009): *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.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. (2009): *Wind Technology Roadmap*. International Energy Agency. Disponível em: www.eia.org/Papers/2009/wind_roadmap.pdf. [Consulta em 05 de junho de 2015].
- JERVEL, J. T. (2008): *Estudo da influência das características do vento no desempenho de aerogeradores*. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 87 f.
- LAGO, D.(2006): *Modelagem de banco de dados geográfico para subsídio a gestão integrada de recursos hídricos*. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, [S.l.], v.1, p. 79-90.
- LIMA JÚNIOR, P. O. (2002): *GEOBR: intercâmbio sintático e semântico de dados espaciais*. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - INPE, São José dos Campos. 100 f.
- LINARD, F. J. A. *Estimativas da velocidade do vento em altitude usando o Software Windographer*. Monografia (Monografia de Graduação em Bacharelado em Física) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2010. 42 f.
- LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C.; HASENACK, H.; WEBER, E. J. (2000): *Modelagem conceptual de banco de dados geográficos: o estudo de caso do projeto PADCT/CIAMB*. In: Carvão e Meio Ambiente. UFRGS. Porto Alegre. 440 - 458.
- LISBOA FILHO, J.; RODRIGUES JUNIOR, M. F.; DALTIO, J. (2004): *ArgoCASEGEO - Uma Ferramenta CASE de Código-Aberto para o Modelo UML-GeoFrame*. In: Workshop iberoamericano de ingeniería de requisitos y desarrollo de ambientes de software, VII, Arequipa.
- LISBOA FILHO, J; IOCHPE, C. (2001): *Modelagem de Bancos de Dados Geográficos*. Anais do XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre.
- LISBOA FILHO, J; IOCHPE, C. (1999): *Um estudo sobre modelos conceituais de dados para projeto de bancos de dados geográficos*. Revista Informática Pública. Belo Horizonte. v.1, n.2. p. 67 - 90.
- MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. (2011): *Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso*. Revista Brasileira de Geografia Física. UFPE: Recife. p. 973 – 804.
- MEDEIROS, C. B.; ALENCAR, A. C. de. (1999): *Qualidade dos dados e Interoperabilidade em SIG*. In: GEOINFO, I, Campinas. Anais...Campinas: [s.n.].
- MENDES, P. G. (2013): *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.
- NOGUEIRA, J. D. L.; AMARAL, R. F. A. (2009): *Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo toRaster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN*. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Anais... INPE: Natal. p. 4117 – 4123.

- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ONU DI). (2013): *Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe – Energia e Mudança Climática*. Programa de Capacitação em Energias Renováveis. 75 p.
- PEREIRA, M. A.; LISBOA FILHO, J. (2002): *Projeto de bancos de dados geográficos usando a ferramenta CASEGEO*. In: Workshop Sobre Geoprocessamento, 1, 2002, Viçosa. Anais... Viçosa: NUGEO. Não paginado. Disponível em: <<http://www.dpi.ufv.br/~jugurta/publica.html>>. [Consulta em: 05 de junho de 2015].
- PEREIRA, M. V. R. (2016): *Impacto da altura de aerogeradores sobre a velocidade do vento, energia, efeito de esteira e intensidade de turbulência: Estudos de caso em três projetos eólicos localizados no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 150 f.
- SILVA, V. C. B. (2015): *Criando um ModelBuilder no ArcGIS*. Guest Post. Belo Horizonte.