

IDENTIFICAÇÃO DO POTENCIAL RENOVÁVEL URBANO PARA PRODUÇÃO DE ELECTRICIDADE

Teresa SIMÕES¹, Ana ESTANQUEIRO¹, J. MAIA ALVES²

¹LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., teresa.simoaes@lneg.pt

²Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, SESUL

Resumo: O reconhecimento do impacto da actividade humana no aquecimento global do planeta conduziu, nos últimos anos, ao lançamento de várias iniciativas nacionais e europeias com vista à redução das emissões de gases promotores de efeito de estufa, bem como da dependência de combustíveis fósseis. A preocupação em tornar mais eficiente a utilização de energia em geral, e da energia eléctrica em particular, tem conduzido à procura de novas soluções para a geração de energia e à adopção de medidas com vista à sensibilização das sociedades para a utilização eficiente dos recursos, incluindo os energéticos. Neste contexto, surgiram nos anos mais recentes conceitos tais como, Cidades Inteligentes e Cidades Sustentáveis, os quais recorrem, de forma natural, a sistemas de energias renováveis para produção de electricidade. O desenvolvimento do conceito de Cidades Inteligentes não foi, contudo, acompanhado do necessário desenvolvimento e disponibilização de metodologias de caracterização e quantificação do potencial energético dos recursos renováveis nas cidades, por forma a promover uma gestão e planeamento adequados dos recursos existentes e o desejável desenvolvimento urbano sustentável. Este trabalho apresenta uma metodologia baseada em tecnologias de informação geográfica que permite a quantificação do potencial renovável existente em meio urbano para a produção de electricidade (eólico e solar fotovoltaico). A metodologia desenvolvida foi aplicada a dois casos de estudo tendo os resultados permitido identificar, de forma simples e estruturada, os locais nas áreas urbanas que apresentam indicadores favoráveis à instalação de sistemas de produção de electricidade a partir de sistemas de microgeração renovável. Este trabalho pretende dar uma contribuição para o futuro planeamento do aproveitamento de energias renováveis em áreas urbanas e construídas num contexto de Cidades Inteligentes.

Palavras-chave: 'SIG', 'Energias renováveis', 'Geodesição', 'Cidades inteligentes'.

Abstract: The concern for more efficient electricity use, has motivated the appearance of concepts such as Smart Cities and Sustainable Cities, which naturally lead to the use of renewable energy systems for electricity production. In this context, the need to identify the renewable potential in urban areas in a simple and structured way has motivated the development of a GIS methodology for this purpose. This paper presents a methodology that allows the quantification of the renewable potential in existing urban areas for the production of electricity (wind and PV) and its application to two case studies.

Keywords: 'GIS', 'Renewable Energies', 'Geodecision', 'Smart cities'.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com as Nações Unidas, hoje em dia metade da população mundial vive em cidades onde uma parte significativa da energia é usada para aquecimento ou arrefecimento dos espaços habitacionais, transporte de bens essenciais e pessoas e alimentação de equipamentos utilitários eléctricos. O aumento da eficiência dos processos de produção e utilização de energia, com particular incidência nas cidades, bem como o uso generalizado de energias renováveis, são assim consideradas imprescindíveis para mitigar os efeitos do sector energético no aquecimento global. As cidades utilizam uma elevada quantidade de energia, exigindo para si mais de 75% da produção de energia mundial e gerando cerca de 80% dos gases promotores de efeito de estufa à escala global. É neste

contexto que surge o conceito de Cidade Inteligente, o qual corresponde a uma comunidade de dimensão tecnológica média, interligada e sustentável, confortável, atractiva e segura, e capaz de gerir a utilização de recursos da forma mais eficiente. A optimização dos recursos endógenos disponíveis, a utilização de novos recursos e também a realização de novos investimentos, aliadas aos conceitos de reutilização e reciclagem de matérias-primas, constituem as bases fundamentais para se atingir em pleno o modelo de Cidade Inteligente. Batagan [2012] refere que as cidades que implementaram soluções inteligentes tiveram em vista, como principal objectivo, o melhoramento da vida quotidiana dos seus habitantes. Nos casos estudados por Batagan [2012] desenvolveram-se várias iniciativas, entre as quais se salientam: a aposta na investigação e no desenvolvimento científico e tecnológico e a redução das emissões de gases promotores de efeito de estufa aumentando a quota de energias renováveis na utilização final de energia, conseguindo assim, uma maior eficiência energética global do sistema. No contexto de Cidades Inteligentes e do incentivo ao uso de sistemas de aproveitamento de energias renováveis de escala doméstica (i.e. microgeração) torna-se necessário desenvolver ferramentas de planeamento da instalação destes sistemas, que permitam a quantificação dos recursos renováveis mais relevantes à escala urbana.

O presente trabalho pretende contribuir para a disseminação do conceito de Cidades Inteligentes, concretamente através do desenvolvimento de uma ferramenta que permita a quantificação dos recursos renováveis mais relevantes para a produção de electricidade em ambiente urbano, i.e. os recursos eólico e solar (para aplicações fotovoltaicas). Neste contexto, é apresentada uma metodologia para a identificação do potencial renovável disponível em meios urbanos tendo como base ferramentas simples de informação geográfica. Os resultados obtidos são ilustrados em dois casos de estudo.

2. METODOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO DO POTENCIAL RENOVÁVEL URBANO PARA PRODUÇÃO DE ELECTRICIDADE

A metodologia desenvolvida assenta na utilização de um sistema de informação geográfica (SIG) onde se construíram ferramentas para a automatização dos procedimentos necessários à identificação e quantificação do potencial renovável urbano. Nos subcapítulos que se seguem, apresenta-se uma descrição da metodologia desenvolvida para cada tecnologia renovável. No caso presente importa tratar as fontes renováveis para produção de electricidade mais relevantes do ponto de vista das cidades – Energia Eólica e Energia Solar Fotovoltaica. As ferramentas foram desenvolvidas em SIG de forma a permitir uma maior interactividade com o utilizador, permitindo a variação dos dados de entrada e dos parâmetros de selecção de pontos de interesse, tornando assim, o processo de obtenção de resultados mais optimizado. O sistema de informação geográfica seleccionado para este trabalho foi o ArcGIS [ESRI, 2012] desenvolvido pela ESRI tendo-se recorrido ao programa Model Builder [ESRI, 2010] aí incluído para desenvolvimento das ferramentas de análise e obtenção de resultados.

2.1. Quantificação do Potencial Eólico Urbano

A quantificação do potencial eólico é efectuada com recurso a um sistema de informação geográfica onde são introduzidos diversos tipos de informação, entre os quais o mapeamento do potencial eólico da zona urbana de interesse. Este mapeamento pode ser obtido de diversas formas, tendo o aqui utilizado sido obtido com recurso a um modelo de microescala de base numérica (CFD) e utilizando a descrição do terreno e malha urbana através de um modelo digital de superfície [Simões et al, 2009] com resolução de 4 x 4m.

O modelo digital de superfície foi desenvolvido com base num modelo digital de terreno obtido com base em informação de satélite [USGS, 2014] e na descrição da malha urbana (polígonos dos edifícios e respectivas cotas de cobertura), tendo como objectivo a integração dos edifícios no terreno urbano e área envolvente. Como resultado obteve-se um modelo de superfície que integra as descrições do terreno e dos edifícios. Este modelo de superfície foi então simulado com base num modelo de avaliação do potencial eólico de base CFD (Computational Fluid Dynamics) sendo tratado como

terreno muito complexo. Os dados de vento utilizados no modelo simulação foram obtidos no Atlas do Potencial Eólico de Portugal continental [Costa et al, 2006] para uma altura de 10m. O Atlas permite a obtenção de vários conjuntos de dados em diversos pontos incluídos na área a estudar de forma a garantir uma boa representatividade espacial. Para a quantificação do potencial eólico urbano, para além do mapeamento do potencial eólico nas suas variáveis velocidade média e fluxo de potência incidente, é necessário introduzir no sistema de informação geográfica as variáveis geometria dos edifícios e descrição do terreno envolvente.

No que diz respeito aos parâmetros do vento, há que definir os limites mínimos para a viabilidade da instalação de turbinas eólicas de pequena capacidade. Neste caso, considerou-se importante seleccionar como parâmetros condicionantes a velocidade média anual do vento e o fluxo de potência incidente. Os valores limites foram estabelecidos tendo em conta o factor de capacidade padrão de uma turbina eólica, F_c , cujo valor se situa entre 10% e 20% [Trust, 2008]. Neste caso assumiu-se um valor médio de F_c igual a 15%, o qual corresponde, em média, à produção de uma turbina eólica à potência nominal durante 1300h anuais. Este valor corresponde aproximadamente a uma velocidade média anual da ordem de 5.0 m/s e um valor de fluxo de potência incidente da ordem de 130W/m². Da mesma forma, Weis e Ilinca [2010] referem igualmente este valor para h=30m, muito embora refiram que pode ser insuficiente do ponto de vista económico. No entanto, dado que no caso presente, os mapeamentos do potencial eólico são obtidos para h=10m, considera-se que 5.0 m/s é um valor adequado para ambiente urbano, tendo assim, sido considerado como valor mínimo. A selecção de pontos de interesse é efectuada sobre os mapeamentos através da aplicação de operações de álgebra de mapas e da reclassificação dos mapeamentos do potencial eólico (equações (1) e (2):

$$\text{Se } v_i \geq 5.0 \frac{m}{s}; \xrightarrow{\text{reclassificação}} v_{i,rec} = 1; \text{ senão } v_{i,rec} = 0 ; \quad (1)$$

$$\text{Se } FPI_i \geq 130 \frac{W}{m^2}; \xrightarrow{\text{reclassificação}} FPI_{i,rec} = 1; \text{ senão } FPI_{i,rec} = 0 ; \quad (2)$$

onde v_i e FPI_i representam os valores de velocidade e fluxo de potência incidente dos mapeamentos correspondentes e $v_{i,rec}$ e $FPI_{i,rec}$ os mesmos valores após reclassificação. Os mapeamentos reclassificados são posteriormente multiplicados obtendo-se um mapa intermédio. A área ocupada pelos pontos que obedecem às condições impostas vai permitir quantificar o potencial eólico disponível da região em análise. Para tal é definida uma área mínima de controlo que depende da tecnologia a instalar, em particular do diâmetro do rotor da turbina de referência, e do número de diâmetros de espaçamento entre cada turbina a instalar. Esta área mínima corresponde à área de um quadrado cujos lados têm o comprimento igual ao n^o de diâmetros de espaçamento entre cada turbina na direcção normal e paralela ao escoamento dominante (equação (3)).

$$A_{min} = (N_1 \times D) \times (N_2 \times D); \quad (3)$$

onde A_{min} é a área mínima a considerar, D é o diâmetro da turbina seleccionada e N_1 e N_2 são o número de diâmetros considerado mínimo para espaçamento inter-turbina nas direcções normal e paralela ao escoamento dominante, respectivamente. O potencial eólico disponível é dado pela equação (4).

$$Pot_{disp} = \frac{A_{tot} \times Pot_{WT}}{A_{min}} ; \quad (4)$$

onde Pot_{disp} é o potencial disponível da área estudada (em kW), A_{tot} é a área total ocupada pelos pontos que obedecem a todas as condições impostas e Pot_{WT} é a potência nominal do modelo de turbina que serviu de referência ao estudo.

2.2. Quantificação do Potencial Solar Fotovoltaico

O procedimento para a componente solar é semelhante ao da componente eólica. Neste caso o mapeamento do potencial solar foi efectuado com recurso a uma ferramenta incluída no SIG seleccionado, que permite estimar e mapear a radiação solar global numa dada área geográfica. Para tal, recorre ao modelo digital de superfície da área geográfica em análise e utiliza a informação referente à latitude onde se insere, bem como a outras variáveis de entrada que o utilizador pode introduzir (e.g. percentagem de radiação difusa). A quantificação do potencial solar fotovoltaico (PV) pode ser efectuada de várias formas, sendo factor comum a área disponível para instalação de sistemas de aproveitamento solar para produção de electricidade. Tendo como base o mapeamento do potencial solar numa dada área urbana, é possível estabelecer condições para a determinação de pontos adequados ao aproveitamento fotovoltaico. Ao contrário do caso da tecnologia eólica, a área disponível para dispor os painéis fotovoltaicos configura-se da maior importância para a determinação do potencial solar fotovoltaico disponível. Por outro lado, a distribuição espacial dos painéis fotovoltaicos será afectada pelo sombreamento induzido pelo edificado, que deve estar presente no mapeamento utilizado, e ainda pela inclinação dos telhados onde serão instalados os sistemas PV. No caso presente pretende-se efectuar uma avaliação do potencial solar fotovoltaico global considerando a máxima ocupação do espaço disponível, pelo que se optou por utilizar a simplificação de admitir que este valor pode ser calculado considerando a insolação na horizontal sobre a totalidade da área disponível [Brito et al, 2012].

Como valores limite para a selecção de áreas de interesse, considerou-se um valor mínimo de irradiação igual a 1.54 MWh/m²/ano e uma área mínima de ocupação dos painéis solares fotovoltaicos igual a 29m². O valor mínimo de irradiação foi seleccionado tendo como base o valor mínimo para um ano padrão em Portugal continental de acordo com a base de dados PVGIS [Suri, et al., 2007]. O valor mínimo da área ocupada por um painel PV foi estimado com base na ocupação de um sistema típico de 3.64kW onde se descontou 10% de ocupação para outros usos. Estas condições são aplicadas ao mapeamento da irradiação na área em análise sendo o procedimento semelhante ao apresentado para o caso da tecnologia eólica. Neste caso só é contabilizada a área ocupada pelos edifícios uma vez que a introdução das fachadas traria complexidade acrescida à metodologia aqui desenvolvida, a qual se pretende de aplicação simples. As equações (5) e (6) descrevem o processo aplicado.

$$P_{to\,disp} \equiv Irr > 1.54 \text{ [MWh/m}^2\text{/ano]} \text{ e } A_{min-roof} > 29 \text{ [m}^2\text{]} ; \quad (5)$$

onde $P_{to\,disp}$ é o ponto que obedece às condições impostas (ponto "disponível"), Irr é a irradiação no ponto i e $A_{min-roof}$ é a área mínima da cobertura de um edifício considerada para a instalação dos painéis fotovoltaicos. A área total corresponde à área ocupada por todos os pontos que obedecem às condições impostas reduzida de 10%, de forma a considerar a presença de eventuais obstáculos presentes nas coberturas (e.g. , antenas, aparelhos de ar condicionado, chaminés ou outras estruturas de dimensão reduzida). A potência fotovoltaica que tipicamente se poderá obter a partir desta área utilizando a tecnologia dominante, correspondente a mais de 85% do mercado, ou seja, a tecnologia de silício cristalino, será dada por:

$$A_{tot} = \sum_{i=1}^N A_{pol_i} \times 0.90 ; P_{PV} = 1000 \times A_{tot} \times \eta_{painel} \times \eta_{sistema} ; \quad (6)$$

onde A_{pol_i} é a área de cada polígono formado pelos pontos seleccionados, P_{PV} é a potência disponível (em W), η_{painel} representa a eficiência do painel fotovoltaico, e $\eta_{sistema}$ representa a eficiência do resto do sistema fotovoltaico (cablagem, inversor, etc.). Para a tecnologia de silício cristalino as eficiências em questão são tipicamente da ordem de 15% para os painéis, e de 75% para o restante sistema. O potencial solar fotovoltaico disponível é dado pela equação (7) onde a área A_{min} se refere neste caso à área mínima ocupada por um painel PV e $P_{ot\,PV}$, corresponde à potência nominal do painel PV.

$$Pot_{disp} = \frac{A_{tot} \times Pot_{PV}}{A_{min}} . \quad (7)$$

2.3. Quantificação do Potencial Renovável Integrado

Foi ainda desenvolvida uma metodologia para determinação do potencial renovável integrado (eólico + solar fotovoltaico) numa perspectiva da partilha de espaços entre ambas as tecnologias. Neste caso optou-se por considerar uma redução de 10% da área de interesse comum a qual se refere à "reserva" do espaço para a não interferência de uma tecnologia na outra. Neste caso o potencial solar fotovoltaico permanecerá quase inalterado, uma vez que no seu cálculo, já foi aplicada uma redução de 10% para outros usos à área disponível. Os procedimentos a seguir passam pela aplicação das equações (8) e (9) a cada ponto dos mapeamentos do potencial renovável, $p_{i,eólica}$ no caso dos mapeamentos do potencial eólico e $p_{i,solar}$ no caso dos mapeamentos do potencial solar:

$$p_{i,eólica} = \begin{cases} 1, & \text{Se } p_{i,eólica} \in \{E\} \\ 0, & \text{Se } p_{i,eólica} \notin \{E\} \end{cases}; p_{i,solar} = \begin{cases} 2, & \text{Se } p_{i,solar} \in \{S\} \\ 0, & \text{Se } p_{i,solar} \notin \{S\} \end{cases}; \quad (8)$$

$$p_{i,total} = p_{i,eólica} + p_{i,solar}; \quad (9)$$

onde $\{E\}$ e $\{S\}$ representam os conjuntos que incluem os parâmetros definidos como limites mínimos adequados aos aproveitamentos eólico e solar fotovoltaico, respectivamente. O potencial renovável integrado é dado pela equação (10).

$$P_{disp_{E+S}} = \left[\left(\frac{(A_3 \times 0.90) + A_1}{A_{tec_E}} \times P_{nom_E} \right) + \left(\frac{(A_3 + A_2) \times 0.90}{A_{tec_PV}} \times P_{nom_PV} \right) \right]; \quad (10)$$

onde $P_{disp_{E+S}}$ é o potencial disponível eólico e solar fotovoltaico; A_3 é a área ocupada pelos pontos onde ambas as tecnologias apresentam potencial adequado; A_2 é a área ocupada pelos pontos com potencial solar adequado e A_1 é a área ocupada pelos pontos com potencial eólico adequado. A_{tec_E} e A_{tec_PV} são respectivamente as áreas ocupadas por uma turbina eólica e por um painel PV. P_{nom_E} e P_{nom_PV} representam a potência nominal da turbina e do painel PV seleccionados, respectivamente.

3. POTENCIAL RENOVÁVEL URBANO – CASOS DE ESTUDO

Para demonstrar a metodologia desenvolvida, foram seleccionadas duas áreas urbanas, ambas situadas no concelho de Cascais – freguesia de Estoril e freguesia de São Domingos de Rana – para as quais foi possível obter a descrição da malha urbana e do terreno envolvente. Com esta informação foi possível construir uma superfície de cotas representando os edifícios sobre o terreno existente, a qual permitiu obter mapeamentos bastante precisos do potencial eólico e solar da região [Simões et al, 2009]. A figura 1 representa a maquete digital do concelho de Cascais da qual foram extraídas as zonas urbanas aqui estudadas.

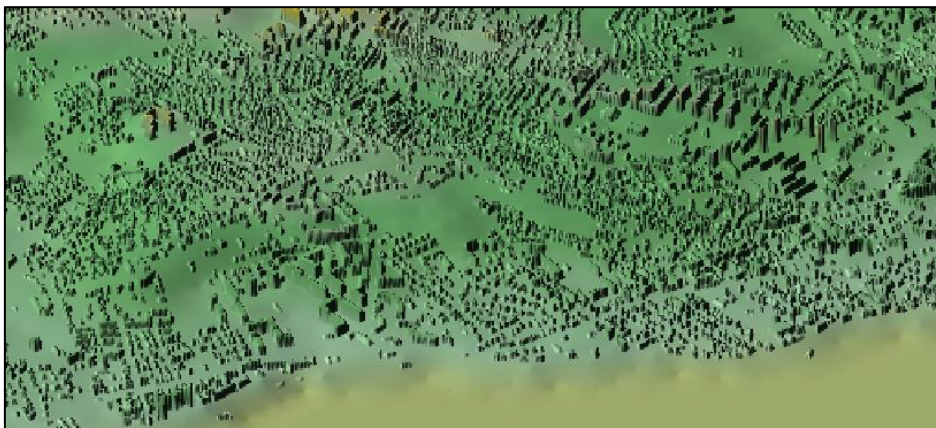


Figura 1 - Excerto da maquete digital da malha urbana (edifícios + terreno envolvente).

A título ilustrativo apresentam-se nas figuras 2 e 3 os mapeamentos do potencial eólico (para h=10m acima da superfície gerada – modelo digital de superfície) e solar (à superfície) utilizados como base para a selecção das áreas de interesse para as freguesias de Estoril e São Domingos de Rana.

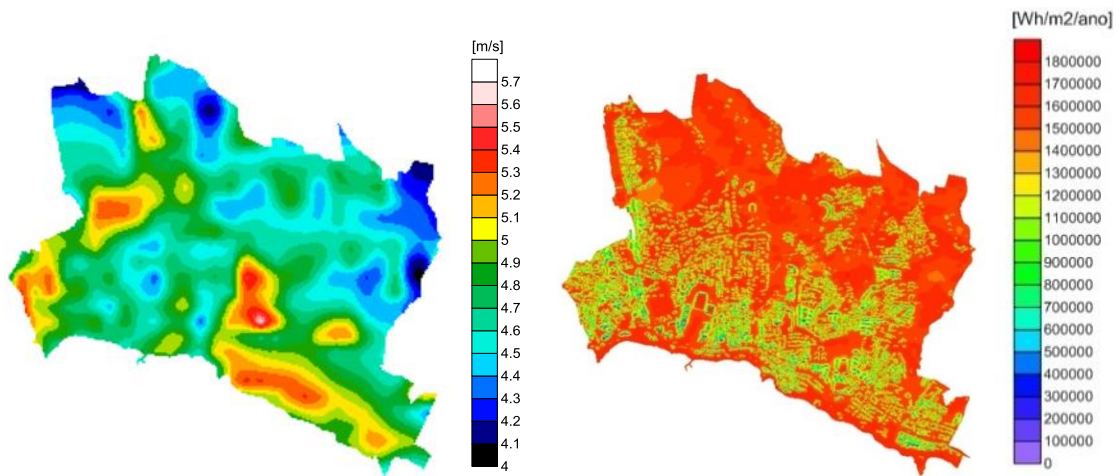


Figura 2 – Mapeamentos do potencial eólico e solar na freguesia de Estoril.

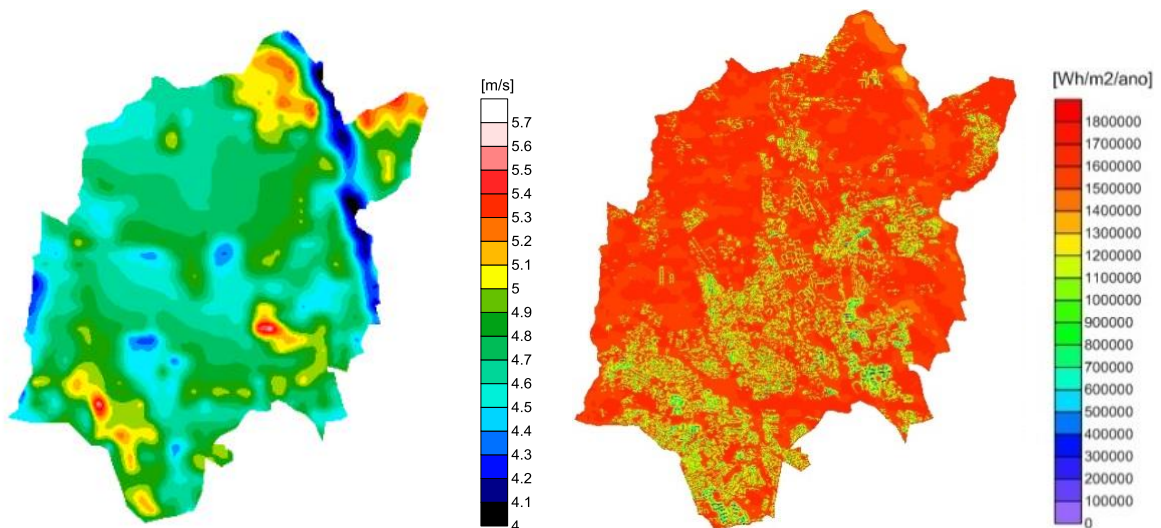


Figura 3 - Mapeamentos do potencial eólico e solar na freguesia de São Domingos de Rana.

O cálculo do potencial eólico disponível foi feito tendo em conta uma turbina padrão com 3.72m de diâmetro e 2.4kW de potência nominal, tendo-se considerado um espaçamento entre turbinas igual a 5 diâmetros. No caso do potencial solar fotovoltaico, considerou-se um modelo padrão de silício cristalino com 170W de potência nominal e 1.26m² de área. A tabela 1 apresenta os resultados obtidos após aplicação da metodologia desenvolvida.

Tabela 1 – Resultados obtidos para as freguesias de Estoril e São Domingos de Rana após aplicação da metodologia desenvolvida.

Freguesia	Potencial Eólico disponível [MW]	Potencial solar fotovoltaico disponível [MW]	Potencial Renovável Integrado [MW]
Estoril	11.152	45.670	56.770
S. D. Rana	3.749	100.455	103.801

Analisando os resultados apresentados na tabela 1, pode ver-se que as duas zonas urbanas apresentam resultados contrários no que respeita ao potencial eólico e solar. A freguesia de Estoril apresenta maior potencial eólico e menor potencial solar, verificando-se o contrário na freguesia de São Domingos de Rana. No que respeita ao potencial eólico, a freguesia de Estoril apresenta mais pontos com potencial adequado do que a freguesia de São Domingos de Rana (figura 4) reflectindo-se num maior potencial eólico disponível. No que respeita ao potencial solar, este depende fortemente da área disponível uma vez que de uma forma geral, a maioria dos edifícios apresenta potencial solar adequado. Sendo a freguesia de São Domingos de Rana de maior dimensão em termos de área do que a freguesia de Estoril, o resultado reflecte-se num maior potencial solar fotovoltaico disponível. A tabela 2 apresenta as áreas totais e disponíveis das duas freguesias em análise.

Tabela 2 – Áreas totais e disponíveis correspondentes às freguesias de Estoril e São Domingos de Rana.

Freguesia	Área total [m ²]	Área disponível Eólica [m ²]	Área disponível Solar [m ²]	Área disponível comum [m ²]
Estoril	8891376	1607856	376112	78768
S. D. Rana	20442544	540544	827280	36288

A Figura 4 e a Figura 5 apresentam os mapeamentos obtidos após aplicação da metodologia representando os pontos de interesse resultantes. Para melhor entendimento do recurso energético existente nos pontos seleccionados, as figuras apresentam os pontos de interesse representados por intermédio de variáveis de recurso energético, i.e., velocidade média anual no caso do potencial eólico e irradiação anual no caso do potencial solar fotovoltaico.

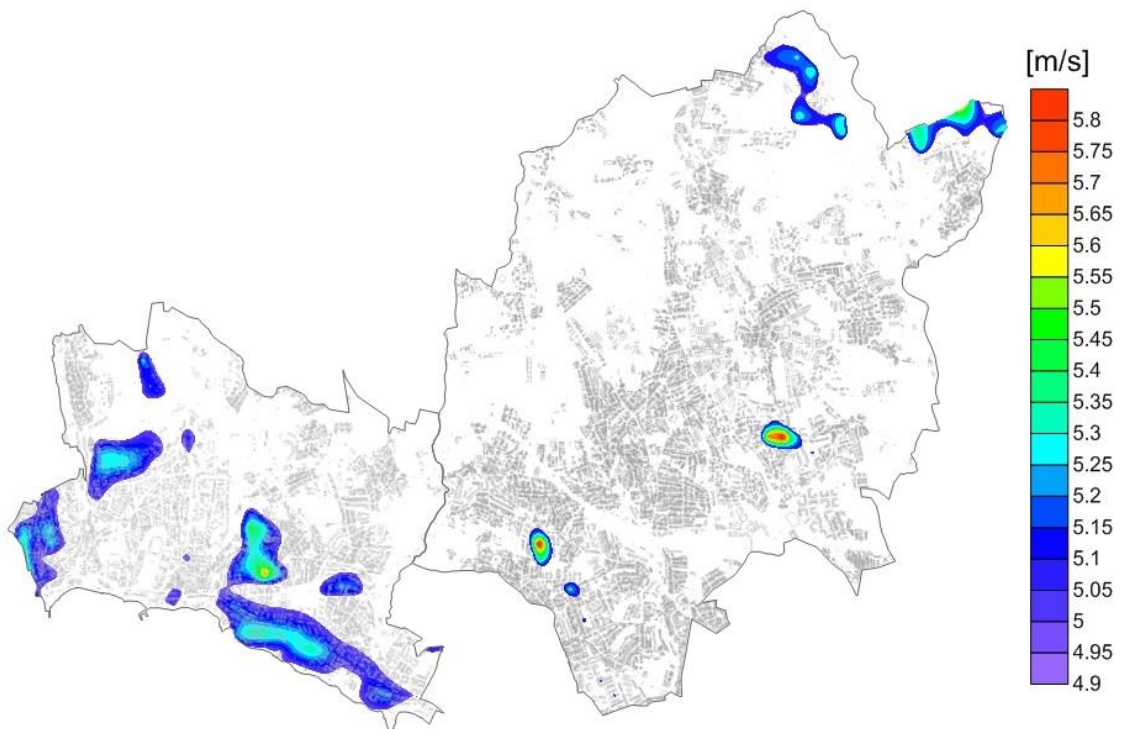


Figura 4 – Representação das zonas com potencial eólico disponível nas freguesias em análise (representado em valores de velocidade média anual do vento).

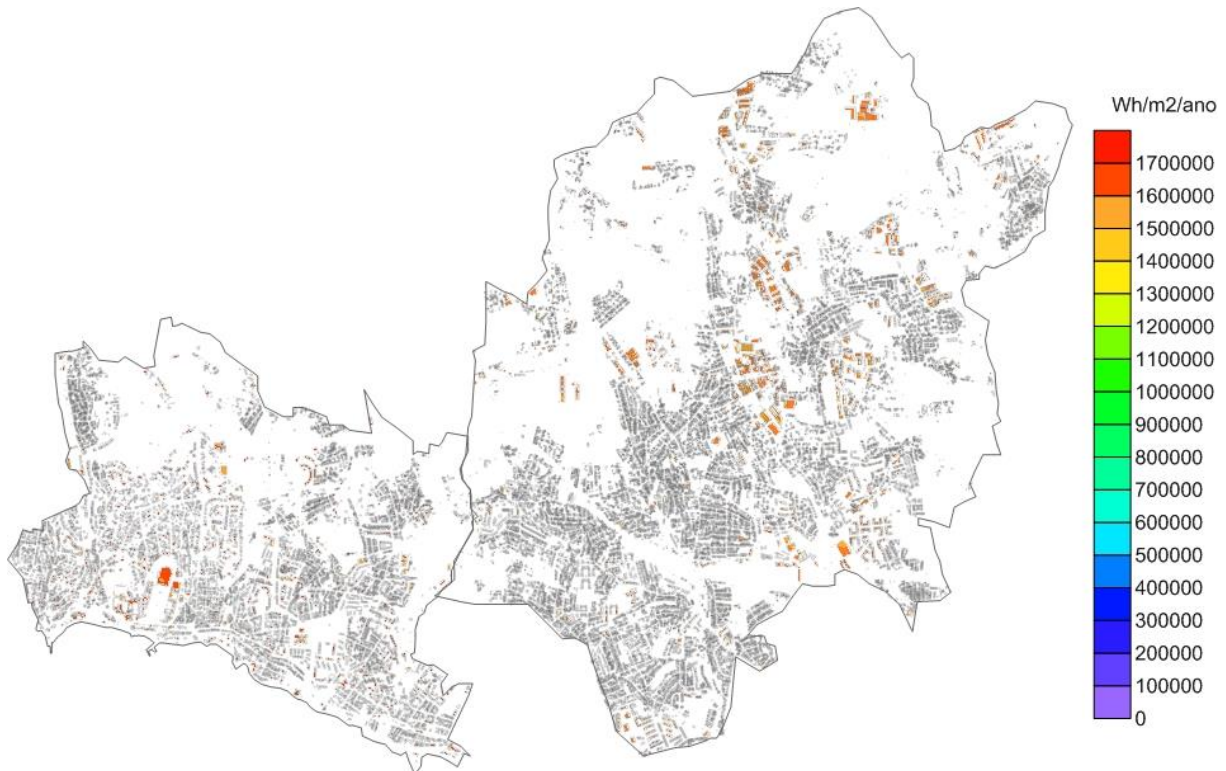


Figura 5 – Representação das zonas com potencial solar fotovoltaico disponível nas freguesias em análise (representado em irradiação anual).

A Figura 6 apresenta em maior detalhe as zonas com potencial solar fotovoltaico disponível numa pequena área da freguesia de Estoril.

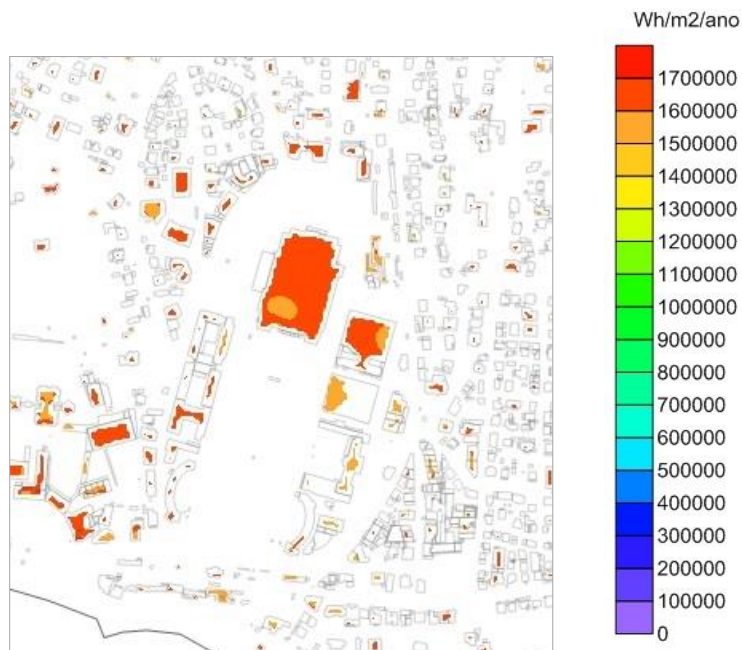


Figura 6 – Representação das zonas com potencial solar fotovoltaico numa pequena área da freguesia de Estoril (representado em irradiação anual).

Relembra-se que neste estudo foram consideradas coberturas planas do edificado pelo facto de se pretender o desenvolvimento de uma metodologia de aplicação simples. Muito embora, no caso do potencial solar PV se tenha tido em conta a aproximação a coberturas planas, não sendo de esperar desvios significativos face à situação real conforme refere o estudo de Brito et al [2012], é no entanto de referir que, a introdução das fachadas dos edifícios em estudos deste tipo foi já efectuada por Redweik et al [2013] para uma pequena zona urbana, tendo sido introduzido o detalhe dos edifícios num sistema de informação geográfica. Ainda assim, e tal como já foi referido anteriormente neste trabalho, a introdução das fachadas torna a metodologia mais complexa e pouco acessível para o utilizador menos experiente, saindo assim fora dos objectivos pretendidos.

No caso do potencial eólico a introdução do detalhe das coberturas poderá influenciar de forma mais relevante os resultados obtidos. No entanto, a metodologia pretende ser aplicada ao planeamento urbano sustentável onde o objectivo principal é a identificação em macroscale do potencial renovável, pelo que o estudo detalhado do potencial eólico poderá ser efectuado caso a caso nos pontos de interesse resultantes. Ainda no que respeita ao potencial solar PV considerou-se unicamente a área ocupada pelos edifícios não tendo sido contabilizado o espaço exterior. Muito embora nesta fase do trabalho este não fosse o objectivo principal, é importante identificar, no futuro, zonas exteriores onde se possam adaptar soluções para a instalação de sistemas solares PV (Parques de estacionamento com aproveitamento de estruturas de sobreamento para a integração destes sistemas, parques de recreio, etc) desde que se possua informação adequada.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, apresenta-se uma metodologia para a identificação e quantificação do potencial renovável disponível em meio urbano. Para tal desenvolveram-se numa primeira fase, duas ferramentas, uma para identificação do potencial eólico disponível e outra para o potencial solar fotovoltaico disponível. Estas ferramentas foram programadas de forma a possibilitar a variação dos dados de entrada (mapeamentos dos parâmetros eólicos e solares) e os parâmetros de selecção (velocidade média, fluxo de potência, irradiação anual, etc). Numa segunda fase foi ainda desenvolvida uma outra ferramenta com vista à identificação de áreas de interesse para a instalação conjunta das duas tecnologias em análise. A metodologia aqui apresentada e as ferramentas desenvolvidas permitem ainda a introdução de diversas restrições à instalação de sistemas de produção de electricidade por fontes renováveis, desde que estas possam ser adaptadas aos formatos aceites pela plataforma SIG seleccionada.

A metodologia desenvolvida foi aplicada a duas áreas urbanas, Estoril e São Domingos de Rana, tendo-se identificado e quantificado o potencial eólico e solar fotovoltaico disponível. Foi ainda obtido o potencial renovável integrado (eólico + solar fotovoltaico) assumindo-se a partilha de espaços para a instalação de sistemas eólicos e solares fotovoltaicos. No que respeita aos resultados obtidos, é de salientar que estes se referem à totalidade da região analisada numa perspectiva de planeamento urbano em macroscale, i.e., interessa apresentar uma estimativa global da região e não o detalhe. Pelo mesmo motivo, a análise em termos de recurso energético foi efectuada considerando o recurso anual e não foram consideradas as variações sazonais do mesmo.

A metodologia desenvolvida pode ser aplicada a zonas de maior e relevante dimensão, i.e. concelhos ou distritos e permite a sua generalização a qualquer área urbana, constituindo assim uma contribuição para o planeamento dos recursos energéticos urbanos num contexto de cidades inteligentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Câmara Municipal de Cascais e ao IGOT – Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, pela disponibilização da malha urbana.

Referências

- Batagan, L. (2012). The use of intelligent solutions in romanian cities. *Informatica Economica*, vol. 16, nr. 4, pp. 37-43, Bucharest.
- ESRI (2012). ArcGIS, Copyright © 1995-2012.
- ESRI (2010). Model Builder - ArcGIS, Copyright © 1990-2010
- USGS, (2014). United States Geological Survey, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) database website. Available: http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/ [Accessed 09 June 2008].
- Costa, P.; Miranda, P.; Estanqueiro, A., (2006). Development and Validation of the Portuguese Wind Atlas. Athens, EWEA, pp. 1-9.
- Simões, T.; Costa, P.; Estanqueiro, A. (2009). A first methodology for wind energy resource assessment in urbanised areas in Portugal. Proceedings of the European Wind Energy Conference – EWEC 2009, 16 to 19 de Março 2009, Marseille, França.
- Carbon Trust (2008). Carbon Trust. Small-scale wind energy. Policy insights and practical guidance: WindPower. Pp 1-40. http://www.carbontrust.com/media/77248/ctc738_small-scale_wind_energy.pdf
- Weis, Timothy M.; Ilinca, Adrian (2010). Assessing the potential for a wind power incentive for remote villages in Canada. *Energy Policy*, 38, pp5504-5511, Elsevier.
- Brito, M., Gomes, N.; Santos, T.; Tenedório, J. (2012). Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LIDAR data. *Solar Energy*, 86, pp. 283-288, Elsevier.
- Suri, M.; Huld, T. A.; Dunlop, E. D.; Ossenbrink, H. A. (2007). Potential of solar electricity generation in the european union member states and candidate countries. *Solar Energy*, 81, pp. 1295-1305. Elsevier.
- Redweik, P.; Catita, C.; Brito, M., (2013). Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape. *Solar Energy*, 11, Volume 97, pp. 332-341.