

Planeamento da instalação de pequenas turbinas eólicas na região de Lisboa

T. Simões, PhD¹, P. Costa, MsC¹, J. Gil², M.C. Proença, PhD^{3,4}

¹Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Portugal, ²Instituto Superior de Educação e Ciência, Portugal
teresa.simoed@lneg.pt, first.author@email.edu, third.author@gmail.com

²Second Author's University, Country, second.author@email.com

T. Simões¹, P. Costa¹, J. Gil², M.C. Proença^{3,4}

1.Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.

Estrada do Paço do Lumiar, 1649-038 Lisboa

Portugal

2.Instituto Superior de Educação e Ciência

3. MARE – Ulisboa Marine and Environmental Sciences Centre & ARNET – Aquatic Research Infrastructure Network Associated Laboratory

4. Departamento de Física, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

Abstract—In recent years, with the publication of PNEC2030 and RNG 2050, a strong effort has been made to increase renewable capacity, with special emphasis in recent months, following the energy crisis that is taking place across Europe and the rest of the world. In this sense, distributed generation also assumes a relevant role as a contribution to reducing the use of fossil fuels and the energy bill. In this article we intend to present the mapping of wind potential in the city of Lisbon and surrounding areas from the perspective of planning the installation of wind microgeneration systems, as well as the application of geographic information techniques, with a view to identifying areas of interest for installing these systems. The wind potential mapping will be obtained based on the CFD based WindSim model, and validated with existing experimental data in some points of the city of Lisbon, which will allow the calibration/correction of the modelled wind results. It should be also noted that the flow modelling takes into account the urban fabric, in this case obtained by the COPERNICUS services, whose description of the building presents a high resolution that will allow the characterization of the buildings in the wind flow with some precision.

Keywords—Small wind, GIS, planning, urban wind resource assessment, renewable energy.

Resumo: Nos últimos anos, com a publicação do PNEC2030 e RNG 2050, tem sido efetuado um esforço elevado no aumento da capacidade renovável, com especial ênfase nos últimos meses, na sequência da crise energética que se verifica em toda a Europa e no resto do mundo. Neste sentido, a geração distribuída assume igualmente um papel de relevância como contributo da redução da fatura energética. Neste artigo pretende-se apresentar o

mapeamento do potencial eólico na cidade de Lisboa e áreas circundantes, numa perspectiva de planeamento da instalação de sistemas eólicos para produção de electricidade, bem como, a aplicação de técnicas de informação geográfica com vista à identificação de áreas de interesse para a instalação destes sistemas. O mapeamento do potencial eólico será obtido com base no modelo WindSim, de base CFD, e validado com dados experimentais existentes nalguns pontos da cidade de Lisboa, os quais permitirão calibrar/corrigir o mapeamento do vento resultante da modelação. É ainda de referir que a modelação a realizar entra em linha de conta com a malha urbana, obtida pelos serviços COPERNICUS, cuja descrição do edificado apresenta uma resolução bastante elevada, a qual permitirá caracterizar a influência dos edifícios no comportamento do vento com alguma precisão.

Palavras chave—microgeração eólica, SIG, planeamento, recurso eólico urbano, energias renováveis.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm sido publicados em Portugal diversos regulamentos referentes à eólica de pequena capacidade. Realça-se o Decreto-Lei nº162/2019 de 25 de Outubro (MATE, 2019) o qual vem regulamentar a utilização de sistemas renováveis em regime de autoconsumo. Este Decreto-Lei, a par de vários outros, vem contribuir para a

implementação da Diretiva (UE) 2018/2001, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018 (UE, 2018), pelo Estado Português, a qual vem promover fortemente a utilização de energia de fontes renováveis. Esta diretiva realça a crescente importância do autoconsumo de eletricidade renovável, apresentando e reforçando a figura do autoconsumidor de energia renovável, quer independente quer na figura de “comunidades de energia”.

No quadro atual de crise energética presente na Europa e no mundo, a importância de agilizar a instalação de sistemas renováveis para produção de eletricidade, incluindo ao nível urbano, assume um papel da maior relevância, sendo necessário desenvolver métodos de planeamento estruturados e eficientes para a instalação de sistemas renováveis em ambientes urbanos.

De uma forma geral, uma metodologia de planeamento pressupõe a existência de uma elevada quantidade de informação, quer no que respeita aos aspetos técnicos, como por exemplo, informação sobre o recurso renovável existente de acordo com a malha urbana da área de interesse, quer nos aspetos ambientais, tais como centros históricos de cidades, património, edifícios classificados e monumentos. Neste contexto, a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), constitui uma mais-valia para o desenvolvimento e aplicação eficaz deste tipo de metodologias.

No que respeita ao recurso eólico, existem atualmente diversas metodologias que permitem a avaliação do potencial eólico em zonas urbanas. Várias destas metodologias recorrem a modelos CFD (Toja-Silva et al., 2018), mas incidem especialmente sobre pequenos grupos de edifícios, quer devido à natureza dos modelos usados que, embora adequados, envolvem elevados custos computacionais, quer pela dificuldade na obtenção de dados de vento em quantidade e com a qualidade necessária para este efeito (Walker, 2011).

Face ao exposto, este artigo apresenta uma metodologia de planeamento urbano para a instalação de sistemas eólicos de pequena capacidade, incluindo a avaliação do recurso eólico. Este trabalho decorre de um estudo efetuado por (Simões & Estanqueiro, 2016) e (Simões T. et al., 2019), complementado por um trabalho académico sobre a cidade de Lisboa (Gil, 2022) introduzindo contribuições adicionais no que respeita à metodologia de planeamento, e à validação dos mapeamentos obtidos na modelação do comportamento do vento urbano.

II. METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida neste trabalho está dividida em duas fases principais: numa primeira fase é efetuada a recolha de dados necessários e a modelação do vento urbano e numa segunda fase identificam-se as áreas de interesse. Os dados necessários à primeira fase correspondem aos dados de

velocidade e direção do vento a usar na geração dos mapas de potencial eólico e posterior validação, e a preparação do mapeamento representativo da malha urbana e características do terreno presentes na área a estudar. O modelo selecionado para a modelação do vento urbano foi o modelo WindSim (Wallbank, 2008), o qual será descrito com maior detalhe mais adiante neste documento. Na segunda fase é efetuada a identificação das áreas de interesse dentro da zona urbana a estudar. Neste caso, recorreu-se a um sistema de informação geográfica (SIG), onde se introduziram os mapeamentos resultantes da primeira fase do trabalho e as restrições existentes no local de estudo que pudessem impedir a instalação de pequenas turbinas eólicas.

Na fig. 1, apresenta-se o esquema geral da metodologia desenvolvida.

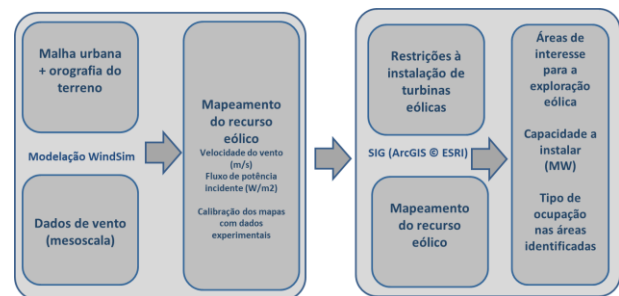


Fig. 1 Esquema da metodologia global desenvolvida.

A. Metodologia de avaliação do recurso eólico urbano

A metodologia de avaliação do recurso eólico urbano assenta na utilização do conjunto orografia + malha urbana de forma a construir um modelo digital de terreno urbano (MDTU) que possa ser simulado com base num modelo convencional e *user-friendly* desenvolvido especificamente para aplicações eólicas. No caso presente, selecionou-se o modelo WindSim.

Os dados de velocidade e direção do vento usados neste trabalho corresponderam a uma série obtida por modelação numérica e retirados do Atlas do Potencial Eólico de Portugal Continental (P. Costa and A. Estanqueiro, 2006A), adaptado a aplicações de microgeração de energia, para uma altura acima do solo igual a 20m (P. Costa and A. Estanqueiro, 2006A) (P. Costa and A. Estanqueiro, 2006B).

A validação dos resultados obtidos na modelação foi efetuada com base em dados provenientes de estações anemométricas e meteorológicas situadas em pontos distintos da área urbana em análise.

A figura 2 apresenta o esquema da metodologia desenvolvida para a avaliação do potencial eólico urbano.



Fig. 2 Esquema da metodologia de avaliação do potencial eólico urbano.

A.1 Modelo Windsim

O modelo Windsim foi desenhado especificamente para aplicações de energia eólica em terrenos complexos. Embora se trate de um modelo estacionário, neste modelo é possível definir malhas estruturadas com estiramento horizontal e vertical com possibilidade de refinamento de áreas. Para além de ser necessário definir parâmetros de entrada e definições de configuração do *solver*, este modelo a par do perfil vertical de velocidades como condição inicial e de entrada, o modelo necessita igualmente de um modelo digital de terreno e informação de rugosidade do local de estudo. Em caso de simulação em ambiente urbano, um modelo digital de terreno urbano é mais adequado e pode substituir o modelo digital de terreno tal como foi assumido para este estudo. A Figura 3 ilustra o esquema simplificado do funcionamento do modelo Windsim.

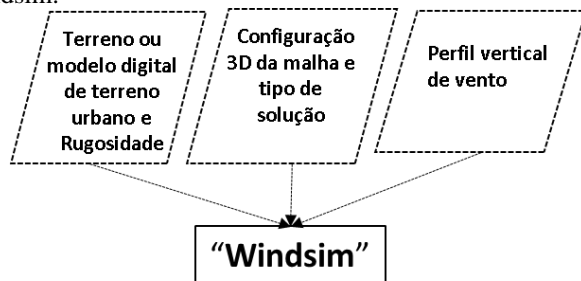


Fig. 3 Esquema simplificado das informações necessárias para simulação com o modelo Windsim.

De uma forma geral, o modelo Windsim resolve as equações de Navier-Stokes (RANS) utilizando o método de elementos finitos, estimando a solução com base no perfil vertical de vento e opções da solução impostas, como o modelo de turbulência entre outras. A evolução da convergência da solução do modelo pode ser visualizada num ponto selecionado, assim como os valores dos principais parâmetros de fluxo do vento. O modelo resolve as variáveis pressão, as três componentes da velocidade do vento (u , v e w), a energia cinética turbulenta e a taxa de dissipação da energia cinética turbulenta. Possui dois tipos de solvers designados, respetivamente por “*segregated*” e “*coupled*”.. Ambos os solvers têm vantagens similares, todavia diferem nas desvantagens. Uma das principais desvantagens do

primeiro *solver* é a dificuldade de atingir a convergência quando se define um elevado número de células. O *solver* “*coupled*” (MIGAL) (Ferry, 2002) usa a técnica de acoplamento—velocidade—pressão no qual o *solver* atualiza simultaneamente os campos de velocidade e pressão em todo o domínio. Como este é um *solver* tipo linear algébrico, ele executa apenas a primeira parte da iteração velocidade—pressão. Após este processo, o modelo PHOENICS completa a parte não linear da iteração (<http://www.cham.co.uk>, acesso 5 de dezembro de 2022). Em termos de convergência, o *solver* “*coupled*” converge com muito menos iterações, mas exige uma elevada capacidade de memória RAM. Além disso, os processos de convergência adotados pelo modelo PHOENICS envolvem ainda a execução de vários sub-módulos que funcionam de forma encadeada até que a precisão da convergência seja atingida.

A.1.1 Condições iniciais e de fronteira impostas ao modelo Windsim

Na tabela 1 apresentam-se os parâmetros definidos e impostos ao modelo Windsim no decurso das simulações.

TABELA 1
CONDIÇÕES INICIAIS E DE FRONTEIRA PARA O MODELO WINDSIM

modelo	Windsim v. 6.0
Condições iniciais	<ul style="list-style-type: none"> Modelo digital de terreno urbano; Topo da camada limite: 1500m; Malha 3D : 2 m × 2 m; Rugosidade equivalente $Z_0 = 0.87$ m; Height distribution factor: 0.01; Ratio additive length to resolution: 0.01 Smoothing Gaussian model: <ul style="list-style-type: none"> a) Terrain smoothing limit: 0.01 b) Smoothing radius: 0 c) Gradual smoothing type: Inner gradual smoothing
Condições fronteira	<ul style="list-style-type: none"> Altura início da camada limite: 200m; Velocidade na camada limite: 10m/s Top boundary condition: Fixed pressure Perfil vertical de vento: <ul style="list-style-type: none"> a) $Z_{ref} = 60$ m; b) $Z_0 = \text{uniform} = 0.87$ m (dense occupation) c) $Z_{ground} = 0$
Parâmetros da solução e convergência do <i>solver</i>	<ul style="list-style-type: none"> Solver: GCV- “segregated” Numero iterações: 200 Convergence criteria: 0.005 Potential temperature: Disregard temperature Air density: 1.225 kg/m³ Turbulence model: modified k-ε Height of reduced wind database: 200 m;

A.2. Descrição da metodologia GIS

A identificação do potencial eólico disponível é realizada com base em informação mapeada e georreferenciada sobre o recurso eólico (ou seja, velocidade do vento (m/s) e fluxo de potência incidente (FPI) (W/m²)) e a malha urbana.

Numa primeira fase, esta informação é inserida num SIG onde se desenvolvem/programam ferramentas de aplicação aos dados de entrada que tenham em conta as condições adequadas à instalação de turbinas eólicas. Como resultado, obtêm-se as áreas de interesse disponíveis para a instalação destes equipamentos.

Para tal, é necessário definir as condições que viabilizam, do ponto de vista energético, a utilização de turbinas eólicas para produzir energia elétrica.

Estas condições podem ser definidas estabelecendo um fator de capacidade (eq. 1) mínimo e aceitável para garantir um funcionamento eficiente das turbinas eólicas. De acordo com (WindPower, 2012), podem assumir-se como normais valores compreendidos entre 10% e 20% para o F_c . Assim, são definidos valores mínimos para os restantes parâmetros do recurso – velocidade média do vento e fluxo de potência incidente.

$$F_c = NEPS/8760. \quad (1)$$

Onde, F_c é o fator de capacidade, NEPS é o número de horas equivalentes à potência nominal (em h/ano) e 8760 corresponde ao número de horas de um ano.

Tendo em conta um valor intermédio de F_c da ordem de 15%, o valor correspondente para NEPS é de, aproximadamente, 1300h/ano. Apesar destes parâmetros dependerem fortemente da distribuição do vento num dado local e da curva de potência da turbina eólica selecionada, pode aceitar-se que a velocidade média mínima aceitável para um local de interesse se situa entre 5.0 e 6.0 m/s, e o fluxo de potência incidente na ordem de 130 W/m². Neste sentido, os valores mapeados e obtidos na modelação do potencial eólico foram reclassificados de acordo com as expressões (2) e (3).

$$\text{Se } v_i \geq 5.5 \text{ ms}^{-1}; \text{então } v_{i,rec} = 1; \text{senão } v_{i,rec} = 0 \quad (2)$$

$$\text{Se } FPI_i \geq 130 \text{ Wm}^{-2}; \text{então } FPI_{i,rec} = 1; \text{senão } FPI_{i,rec} = 0 \quad (3)$$

Onde v_i representa a velocidade média do vento em cada ponto da grelha base do mapa de velocidade, e FPI_i o valor do fluxo de potência incidente em cada ponto da grelha base do mapa de FPI. $v_{i,rec}$ e $FPI_{i,rec}$ representam os mesmos pontos após a reclassificação. Os mapas reclassificados são posteriormente multiplicados resultando num mapa final com a interseção dos pontos que obedecem às condições estabelecidas em (2) e (3), e consequentemente,

representativas das áreas de interesse para a instalação de sistemas eólicos de pequena capacidade.

$$Pot_{0,1} = v_{i,rec} \times FPI_{i,rec}. \quad (4)$$

Na figura 4 apresenta-se o esquema ilustrativo da metodologia desenvolvida para a identificação das áreas de interesse.

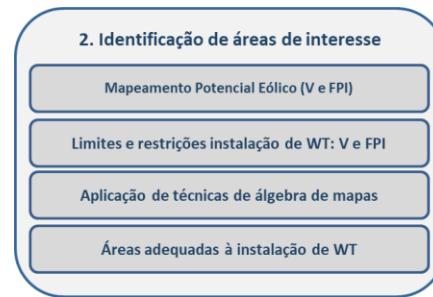


Fig. 4 Esquema da metodologia de identificação das áreas de interesse para a identificação de áreas de interesse para a instalação de pequenas turbinas eólicas.

III. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida e apresentada nos capítulos anteriores foi aplicada a um caso de estudo centrado na cidade de Lisboa. A seleção da área de estudo prendeu-se com a disponibilidade de dados referentes às restrições existentes em termos de património – essencialmente monumentos, localização de parques e jardins e edifícios classificados onde a instalação de pequenas turbinas não é possível. Esta informação não está habitualmente disponível em muitas áreas urbanas num formato que possa ser facilmente inserido num Sistema de Informação Geográfica, pelo que, neste caso, a sua disponibilidade permitiu efetuar um caso de estudo com uma variedade aceitável de restrições e permitiu ilustrar as potencialidades da metodologia desenvolvida.

No que respeita ao recurso eólico, foi possível obter a malha urbana da cidade na base de dados da Copernicus (Copernicus) com uma discretização razoável, 10 x 10m, permitindo uma representação adequada do edificado como dado de entrada do modelo.

Acresce que existia nesta data um conjunto de dados interessante, o qual permitia validar os mapeamentos do potencial eólico obtidos na modelação, correspondente a campanhas experimentais realizadas pelo LNEG, e a um conjunto de estações meteorológicas publicamente disponíveis.

A. Avaliação do potencial eólico urbano - resultados

A avaliação do recurso eólico urbano, teve como base a metodologia acima descrita, e como dados de entrada, uma

série de dados obtida por modelação numérica do Atlas do Potencial Eólico de Portugal Continental, adaptada a aplicações de microgeração de energia (para zonas urbanas). Neste caso, o ponto “fonte” de dados situou-se numa área dentro da cidade de Lisboa.

As prescrições do modelo WindSim usadas na modelação, foram as apresentadas no capítulo II deste documento. Na figura 5 apresentam-se os mapas que serviram de base à criação do MDTU.

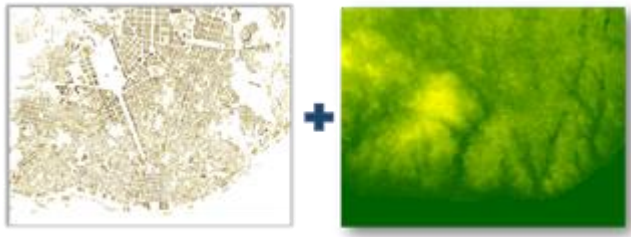


Figura 5 - Modelo digital de terreno urbano da área em estudo – cidade de Lisboa.

Nas figuras 6 e 7 apresentam-se os mapeamentos obtidos na modelação com o modelo WindSim, para os parâmetros “velocidade do vento” e fluxo de potência incidente”. Os desvios encontrados foram posteriormente introduzidos no SIG e utilizados para construir uma matriz de desvios ara ambas as variáveis de forma a obter uma correção espacial dos mapas de velocidade e FPI obtidos na modelação. Para a obtenção dos mapas finais, os mapas de desvios (figura 8) foram multiplicados pelos mapas iniciais resultando em mapeamentos corrigidos e por isso mais representativos da área em estudo (figuras 9 e 10).

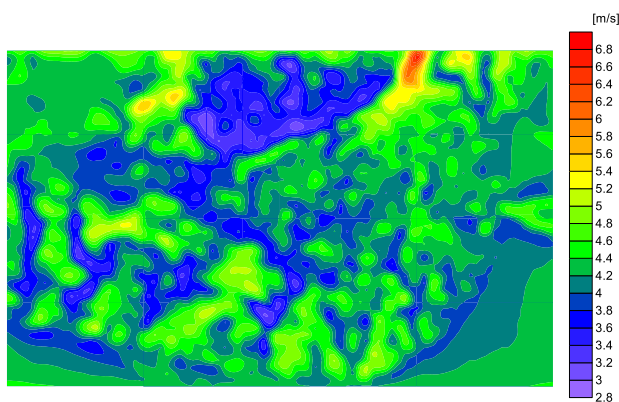


Figura 6 - Mapeamento da velocidade do vento na cidade de Lisboa (m/s). (h=20m).

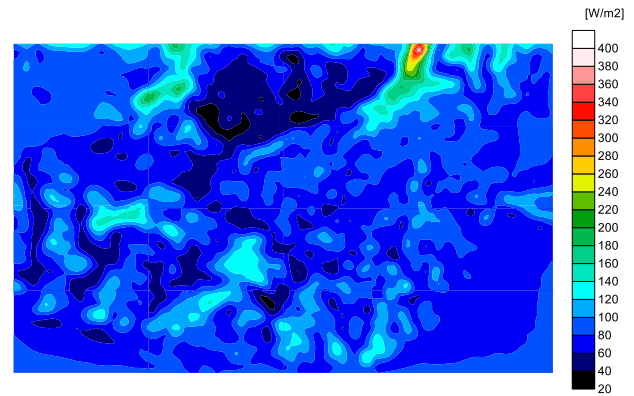


Figura 7 - Mapeamento do fluxo de potência incidente na cidade de Lisboa (W/m²). (h=20m)

TABELA 2
DESVIOS NOS PONTOS DOS MAPAS DE VELOCIDADE E FOPI FACE AOS
DADOS EXPERIMENTAIS

ID	V (m/s)	Vmapa (m/s)	Desvio (m/s)	FPI(W/m 2)	FPIMapa (W/m2)	Desvio (W/m2)
Padrao Descobrimentos	3.6	4.38	0.22	76	88.9	0.17
Expo	3.13	4.2	0.34	84	78.09	-0.07
Telheiras	2.95	3.92	0.33	0	0	-
Aeroporto	5.3	4.46	0.15	156.6	96.7	-0.38

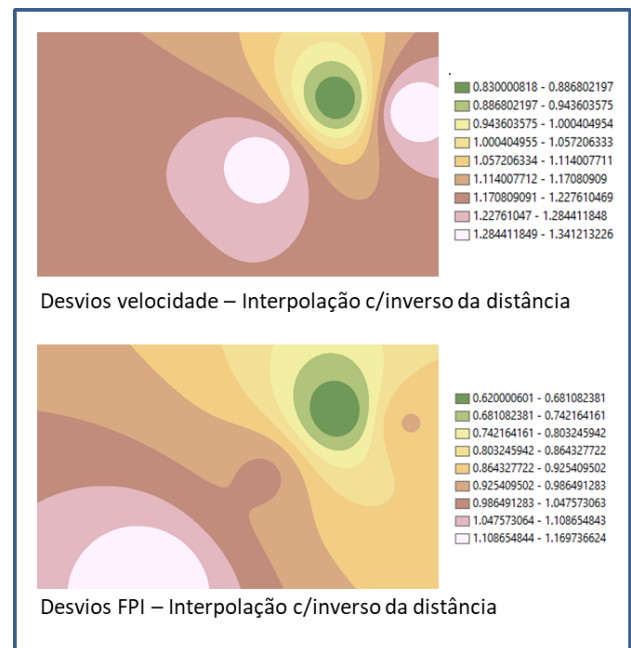


Fig. 8 Mapas de desvios obtidos com base nos dados da tabela 1.

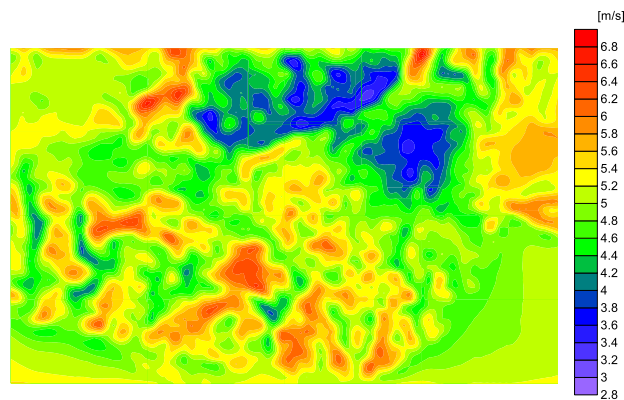


Fig. 9 Mapa de velocidade do vento corrigido pela matriz de desvios.

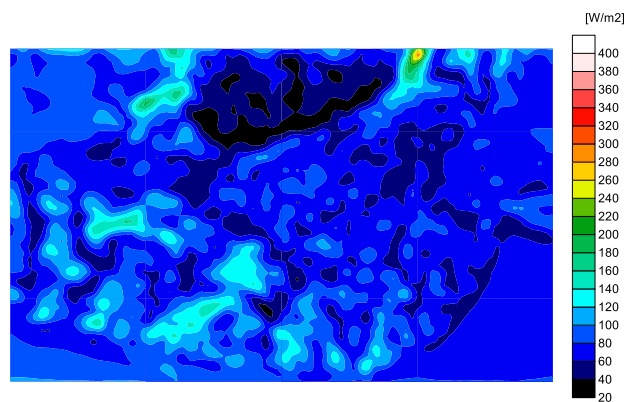


Fig. 10 Mapa de FPI corrigido pela matriz de desvios.

É importante referir que os dados usados na correção dos mapas iniciais foram obtidos em locais com perturbações significativas motivadas pelo edificado, pelo que nalguns casos, poderão estar sobre-estimados, o que parece ocorrer no caso da estação meteorológica do Aeroporto. Ainda assim, optou-se por aplicar a correção com base nesta estação, uma vez que a indefinição sobre o comportamento do modelo em ambientes urbanos poderia resultar em resultados com maiores desvios face à realidade. Da mesma forma, só a existência de medições realizadas especificamente para aplicações eólicas poderia confirmar a aparente sobre-estimativa, o que neste caso, por motivos vários, não seria possível.

Da mesma forma, os dados referentes à estação de Telheiras, não eram suficientemente detalhados para se poder efetuar uma estimativa precisa do parâmetro FPI, tendo este inicialmente resultado num valor pouco credível. Assim, o desvio referente a esta estação anemométrica não foi considerado no cálculo da matriz de desvios.

B. Identificação de áreas de interesse para a instalação de pequenas turbinas eólicas - Resultados

Para concretizar a identificação das áreas disponíveis para aproveitamento eólico recorreu-se ao software ArcGIS (ESRI), versão 10.8.1, tendo-se considerado alguns temas restritivos, tais como jardins públicos e património, incluindo monumentos e edifícios históricos (classificados). Com base nos mapas obtidos na modelação e corrigidos com os dados experimentais, foram realizadas diversas operações.

A primeira operação consistiu em extrair a área de interesse das duas camadas base de informação, a Orografia e a Malha urbana, o que foi feito utilizando a ferramenta Extract-by-Mask, recorrendo à máscara com o centro da área urbana de Lisboa.

Tendo as duas camadas no formato raster, procedeu-se à soma pixel a pixel com a opção Plus, ficando com a soma da altura do edificado e do terreno ligada a cada ponto na camada resultante. À área englobada por esta camada de informação foram então aplicadas as restrições previstas relativas a património e jardins públicos, para o que foi necessário utilizar duas camadas da cartografia base contendo a sua localização, cortadas para a mesma região referente ao centro de Lisboa.

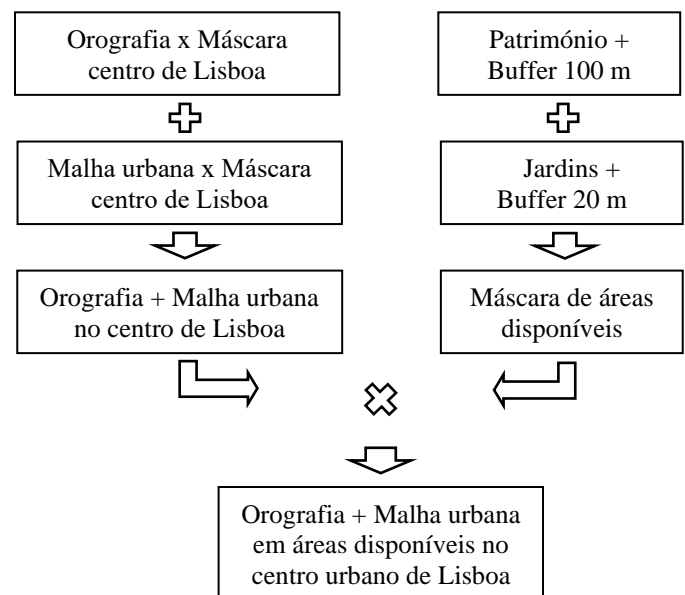


Fig. 10 Fluxograma simplificado das operações GIS necessárias para obter a área disponível para aproveitamento eólico no centro da área urbana de Lisboa.

Para cada tipo de objeto de interesse criou-se uma área protegida com limites definidos, a saber 100 m para património e 20 m para jardins. A ferramenta Buffer permitiu concretizar os buffers em torno das áreas e pontos de interesse em cada uma das camadas adicionais Jardins e Património,

com a opção para fundir dois buffers que se intersectassem ativa, dada a frequente proximidade e a dimensão dos buffers.

A união das duas camadas foi feita com a ferramenta Merge, permitindo reunir todos os polígonos que definem a área não utilizável; esta seleção foi em seguida invertida para ser usada como máscara, com o valor 1 para toda a área disponível e 0 para a área interdita.

A última operação consistiu na aplicação da ferramenta Raster Calculator para realizar a multiplicação ponto a ponto da máscara obtida pela camada contendo a soma da Orografia e da Malha urbana restrita ao centro de Lisboa, definindo assim a localização precisa das áreas disponíveis ao aproveitamento eólico (Figura 10). A figura 11 ilustra o processo completo de processamento das restrições.

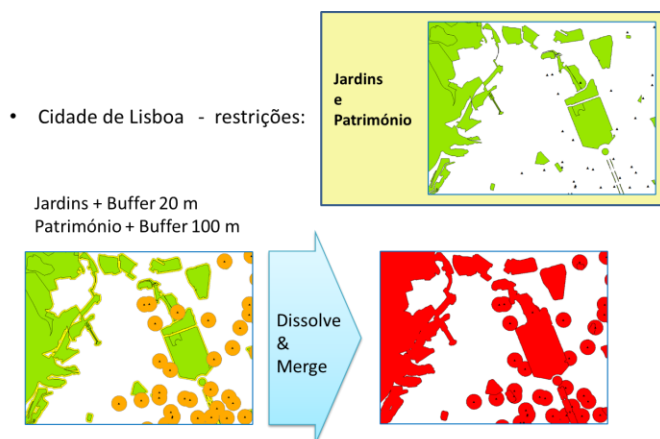


Fig. 11. Processo de processamento das restrições na cidade de Lisboa.

A figura 12 mostra os resultados da aplicação da máscara de exclusão aos mapas de potencial eólico.

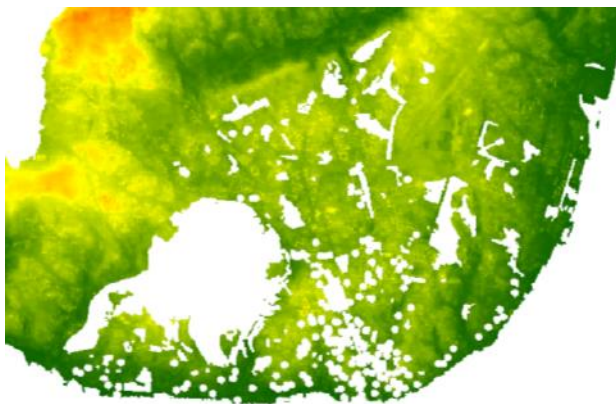


Figura 12. Zonas de exclusão (restrições) na região da cidade de Lisboa.

Após preparação dos mapas e processamento das restrições, procedeu-se à aplicação dos critérios definidos no capítulo da metodologia e correspondentes às expressões (2) a (4). Os resultados podem ser consultados nas figuras 13 e 14, onde as zonas classificadas com o valor “1” correspondem às

áreas onde se considera haver interesse para realizar estudos mais aprofundados para o desenvolvimento de projetos de aproveitamento da energia do vento.

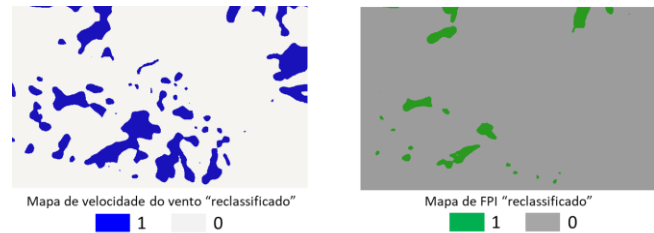


Fig. 13 Mapas de velocidade do vento e FPI reclassificados e com inclusão das restrições identificadas.

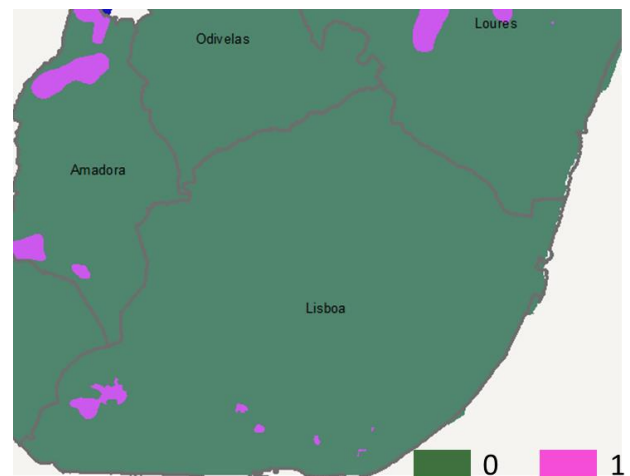


Fig. 14 Mapa das áreas finais que se poderão estudar com maior detalhe para o desenvolvimento de projetos de energia eólica.

III. NOTAS FINAIS

Neste trabalho desenvolveu-se uma metodologia para a identificação de zonas de interesse para a instalação de pequenas turbinas eólicas numa área urbana. A Metodologia desenvolvida para este efeito baseou-se em duas fases distintas as quais incluíram o desenvolvimento de mapas de recurso eólico – velocidade do vento e fluxo de potência incidente – validados com base em dados experimentais de parâmetros o vento, e posteriormente, a sua introdução num SIG. A metodologia incluiu uma interatividade entre a modelação do potencial eólico e a aplicação de técnicas de informação geográfica para a construção do MDTU, desenvolvimento das matrizes de desvios usadas na componente de validação e identificação das áreas de interesse. Os desvios encontrados são ainda elevados face aos valores medidos, no entanto, a disponibilidade de dados experimentais em zonas urbanas com a qualidade suficiente para serem usados em aplicações eólicas é ainda reduzida. Ainda assim, consideram-se os desvios aceitáveis para trabalhos desta natureza. Realça-se

ainda o facto de o MDT-U desenvolvido ainda necessitar de melhoramentos ao nível da sua discretização, o que irá contribuir para aumentar a precisão dos mapas de recurso eólico obtidos na modelação.

As ferramentas desenvolvidas no decorrer do trabalho, nomeadamente, na vertente do planeamento, são interativas, pelo que permitem ao utilizador alterar os dados de entrada (mapas de recursos, restrições) e variar os parâmetros de seleção. É ainda possível introduzir outras restrições à instalação de sistemas de produção de eletricidade renovável, desde que adaptáveis ao formato aceite como entrada em qualquer plataforma de sistema de informação geográfica.

A metodologia aqui apresentada – apesar de ter sido aplicada à escala de uma cidade – pode ser aplicada a áreas de grande dimensão, ou seja, concelhos ou províncias. Os métodos são simples e de fácil aplicação, conforme desejado, e constituem uma mais valia para o planeamento energético das cidades em contexto de Smart Cities ao integrar sistemas eólicos e solares fotovoltaicos nestes ambientes.

É importante notar que o método apresentado foi desenvolvido para fins de planeamento e, nesse sentido, identificar locais adequados para instalação de energias renováveis. Para decisão de investimento, são necessários estudos mais detalhados, que permitam descrever com precisão o comportamento do vento à escala do edifício.

REFERENCES

- Copernicus. (s.d.). <https://www.copernicus.eu/en/access-data>.
- Ferry, M. (2002). New Features of MIGAL Solver. . *9th International PHOENICS Users Conference 2002*.
- Gil, J. (2022). *Avaliação do potencial sustentável eólico urbano de uma cidade: Aplicação ao caso de Lisboa*. Lisboa: ISEC Lisboa.
- MATE. Dec-Lei nº 162 (25 de 10 de 2019). Diário da República n.º 206/2019, Série I de 2019-10-25, páginas 45 - 62. (P. d. Miistros, Ed.) Lisboa, Lisboa, Lisboa. Obtido em 27 de 12 de 2022, de <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/162-2019-125692189>
- P. Costa and A. Estanqueiro. (2006A). Building a Wind Atlas for Mainland Portugal Using a Weather Type Classification. *Proceedings of the European Wind Energy Conference 2006*. Athens.
- P. Costa and A. Estanqueiro. (2006B). Development and Validation of the Portuguese Wind Atlas. *Proceedings of the European Wind Energy Conference 2006*. Athens.
- Simões, T. ., (01 de 01 de 2019). Identification of the Sustainable Wind and Solar Potential in Urban Areas Using a GIS Methodology. (MDPI, Ed.) *Energy and Power Engineering*(11), pp. 398-413. doi:10.4236/epe.2019.1112027.
- Simões, T., & Estanqueiro, A. (01 de 03 de 2016). A New Methodology for Urban Wind Resource Assessment. *Renewable Energy* (89), pp. 598–605. doi:10.1016/j.renene.2015.12.008.
- Toja-Silva, F., Kono, T., Peralta, C., Lopez-Garcia, O., & Chen, J. (s.d.).
- Toja-Silva, F., Kono, T., Peralta, C., Lopez-Garcia, O., & Chen, J. (2018 de 7 de 10). A Review of Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulations of the Wind Flow around Buildings for Urban Wind Energy Exploitation. . *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* (180), pp. 66-87. doi:10.1016/j.jweia.2018.07.010
- UE. (11 de 12 de 2018). DIRETIVA (UE) 2018/2001 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. (J. O. Europeia, Ed.) Bruxelas, Bruxelas, EU. Obtido em 27 de 12 de 2022, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=LV>
- Walker, S. (01 de 03 de 2011). Building Mounted Wind Turbines and Their Suitability for the Urban Scale-A Review of Methods of Estimating Urban Wind Resource. . *Energy Buildings* , 43, pp. 1852-1862. doi:10.1016/j.enbuild.2011.03.032.
- Wallbank, T. (2008). WindSim Validation Study: CFD Validation in Complex Terrain. Obtido de <https://www.semanticscholar.org/paper/WindSim-Validation-Study-CFD-validation-in-Complex-Wallbank/a0fc1941f8952b56c353a8b7a9a9a8b109298d0f>
- WindPower. (2012). *Carbon Trust. Small-scale wind energy. Policy insights and practical guidance. Technical Report*. WindPower.