

ENERGIA SOLAR NO AMBIENTE URBANO: CASO DE ESTUDO, DESAFIOS, ABORDAGENS E INVESTIGAÇÃO

Viana S.*, Simões T.*, Aelenei L.*, Justino P.*

* Unidade de Energias Renováveis e Eficiência Energética, LNEG, Estrada do Paço do Lumiar, 1600-038
Lisboa, Portugal, susana.viana@lneg.pt

RESUMO

O Município de Cascais tem vindo a empenhar-se na mitigação das alterações climáticas, na proteção do ambiente e renaturalização de florestas e espaços verdes, no aumento da recolha seletiva e melhoria de processos de tratamento de resíduos, na melhoria da mobilidade, apostando na mobilidade suave combinada com zonas intermodais de ligação a transportes públicos, como os comboios e a rede gratuita de autocarros municipais (Mobi Cascais) para residentes, trabalhadores e estudantes. Como forma de diminuir a sua pegada de carbono, o município pretende ainda apostar na geração de energia a partir de fontes renováveis, nomeadamente na integração de energia solar fotovoltaica em edifícios públicos e em edifícios geridos pela autarquia. Para atingir estes objetivos Cascais tornou-se um caso de estudo em dois projetos europeus, Re-Value e WeGenerate.

PALAVRAS CHAVE: Alterações climáticas; Revalorização urbana; Comunidades de Energia; Energia Renovável; Bairros sustentáveis.

ABSTRACT

The Municipality of Cascais has been committed to climate change mitigation, protecting the environment and re-naturalizing forests and green spaces, increasing selective collection and improving waste treatment processes and mobility, by focusing on light mobility combined with intermodal areas for the connection to public transport, like trains and the free municipal bus network (Mobi Cascais) for residents, workers and students. Aiming to reduce its carbon footprint, the municipality also intends to invest in renewable energy generation, namely by integrating photovoltaic solar energy into public buildings and buildings managed by the municipality. To achieve these goals, Cascais has become a case study in two European projects, Re-Value and WeGenerate.

KEYWORDS: Climate change; Urban revaluing; Energy communities; Renewable energy; Sustainable neighbourhoods.

INTRODUÇÃO

O Município de Cascais está envolvido em iniciativas europeias e globais para alcançar a neutralidade climática e os objetivos de desenvolvimento sustentável, nomeadamente o Pacto Europeu de Autarcas, o Acordo Europeu das Cidades Verdes e a Missão da União Europeia (EU) para a Adaptação às Alterações Climáticas. A UE comprometeu-se a atingir a neutralidade climática até 2050 e tem como objetivo reduzir as emissões líquidas de gases com efeito de estufa em pelo menos 55% até 2030, relativamente aos níveis de 1990. A vila de Cascais está ativamente empenhada nos esforços para atingir estes objetivos, particularmente em sectores como os transportes, os edifícios, a agricultura, e os resíduos. É por isso dada grande relevância à produção de energia renovável e ao avanço da eletrificação de várias indústrias como estratégias fundamentais para atingir a quase neutralidade carbónica em 2050. Uma das principais apostas para Cascais é o reforço das parcerias público-privadas para as comunidades energéticas, com especial destaque para as energias renováveis locais, com o objetivo específico de combater a pobreza energética nas zonas de habitação social. Dentro deste contexto Cascais tornou-se um caso de estudo em dois projetos europeus, Re-Value e WeGenerate.

O projeto Re-Value pretende demonstrar como a neutralidade climática e a qualidade urbana podem ser alinhadas, revalorizando a ligação das cidades às suas zonas costeiras, reforçando os co-benefícios e atenuando os potenciais impactos adversos. Pretende-se incorporar o conceito “New European Bauhaus” que considera que belos são os lugares, as práticas e as experiências que são: enriquecedores, inspirados pela arte e pela cultura, e respondem a necessidades que vão para além da funcionalidade; sustentáveis, em harmonia com a natureza, o ambiente e o nosso planeta; e inclusivos, encorajando um diálogo entre culturas, disciplinas, géneros e idades. Deste projeto, para além de Cascais, fazem parte mais 8 cidades costeiras europeias. Para Cascais foram definidas 3 zonas piloto onde serão aplicadas a maior parte das medidas de melhoramento - a estrada da Guia, as margens e zona envolvente da Ribeira das Vinhas e a praia de Carcavelos. Este projeto iniciou-se em janeiro de 2023 e irá terminar em dezembro de 2026.

O projeto WeGenerate representa a mudança de paradigma do “construir para as pessoas” para o “construir com as pessoas”. Neste contexto, as partes interessadas; vila, cidadãos, comunidades, empresas, investigadores e profissionais, apropriam-se dos processos de regeneração urbana e co-criam em conjunto bairros sustentáveis, centrados nas pessoas, acessíveis e visualmente agradáveis. O bairro de estudo deste projeto é o bairro de Alcabideche, onde se pretende mitigar a pobreza energética e melhorar as condições de conforto e habitabilidade dos edifícios recorrendo à criação de comunidades de energia. Este projeto iniciou-se em novembro de 2023 e irá terminar em outubro de 2027.

Neste trabalho serão apresentados os desafios encontrados, o planeamento e as abordagens consideradas, nomeadamente o levantamento do potencial de energias renováveis. Atualmente, estão também a ser desenvolvidas ferramentas de apoio a decisão tendo como objetivo apoiar Cascais na definição de medidas com o maior impacto positivo na vida dos cidadãos e na mitigação das alterações climáticas. Neste documento apresenta-se uma descrição sucinta das potencialidades destas ferramentas e dos resultados a obter com a sua aplicação.

OBJETIVOS E ESTRUTURA

Este artigo apresenta o trabalho inicial desenvolvido no âmbito dos projetos Re-Value e WeGenerate para a vila de Cascais. Em relação ao projeto Re-Value, um dos principais objetivos é o desenvolvimento de um roteiro detalhado, alinhado com o Modelo de Impacto Re-Value e a Missão Cidades da UE, baseado em estudos de viabilidade com co-benefícios e de neutralidade climática e qualidade urbana, modelos viáveis de investimento e parceria, e uma base de apoio bem estabelecida para a co-criação com os cidadãos locais e as partes interessadas. O segundo grande resultado são os Planos de Transformação Territorial a longo prazo, baseados no Modelo de Impacto e nas experiências desenvolvidas ao longo do projeto.

Quanto ao projeto WeGenerate, os objetivos principais são a instalação de sistemas fotovoltaicos em edifícios municipais ou geridos pelo município e a criação de comunidades de energia associadas a bairros sociais, para mitigar a pobreza energética e melhorar as condições de conforto dos cidadãos que habitam nesses bairros. Pretende-se fazer um estudo social antes e depois da implementação da comunidade energética para determinar o impacto desta medida e ainda será criado um Digital Twin do bairro social de Alcabideche para avaliar o desempenho energético dos edifícios e determinar melhorias a implementar.

O presente estudo pretende partilhar os resultados da primeira fase de desenvolvimento destes dois projetos, centrando-se em três aspectos principais: (i) a caracterização do potencial de Energias Renováveis (ER) (solar, eólica e ondas) utilizando uma análise espacial, (ii) a análise dos objetivos do município para 2050 em termos de consumos de energia e emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE), considerando os dados de 2019, último ano de dados completo sem a influência da pandemia COVID-19 de 2020/21 e, (iii) contribuição dos dois projetos para alcançar a quase neutralidade carbónica em 2050. O estudo está estruturado em 4 secções principais, começando pela introdução, objetivos e estrutura do documento, seguindo-se o trabalho já desenvolvido para cada um dos projetos, e, finalmente, conclusões e perspetivas de trabalho futuro.

PROJETO WEGENERATE

Este projeto está ainda numa fase inicial estando a definir-se as metodologias e estratégias a adotar para cada uma das 4 cidades intervenientes, Bucarest, Cascais, Cesena e Tampere. Cascais optou por se focar nas comunidades de energia e na geração de energia renovável.

Comunidade de Energia no Bairro de Alcabideche

Em Cascais serão instalados sistemas fotovoltaicos nas coberturas dos edifícios marcados a vermelho na Fig. 1, que farão parte de uma comunidade de energia como produtores. Na Tabela 1 estão indicados os edifícios onde se irá instalar fotovoltaico e as respetivas potências, em dois desses edifícios serão também instalados sistemas de armazenamento de energia com baterias. O projeto também contempla a instalação de carregadores para veículos elétricos, embora ainda seja necessário estudar quais as localizações que permitirão a maior/melhor utilização desses equipamentos.

Tabela 1. Potência fotovoltaica a instalar nos edifícios

| Edifício | Potência a instalar [kWp] |
|---|---------------------------|
| 1 - Junta de Freguesia Alcabideche | 12 |
| 2 - Piscina Municipal de Alcabideche | 67 |
| 3 - Antigo Mercado de Alcabideche – Centro de dia | 10 |
| 4 - Escola de Música de Alcabideche | 13 |
| 5 - Complexo Desportivo de Alcabideche | 84 |

Comparando a estimativa de energia produzida a partir das capacidades instaladas indicadas na Tabela 1 com o consumo de cada um dos edifícios foi possível determinar o rácio médio de autoconsumo de 46%, e também a percentagem média de independência da rede elétrica, 53%. Será dada prioridade ao autoconsumo destes edifícios e a energia excedente será entregue aos 58 apartamentos dos 5 edifícios do bairro social indicados a laranja na Fig. 1, que serão consumidores da comunidade de energia.

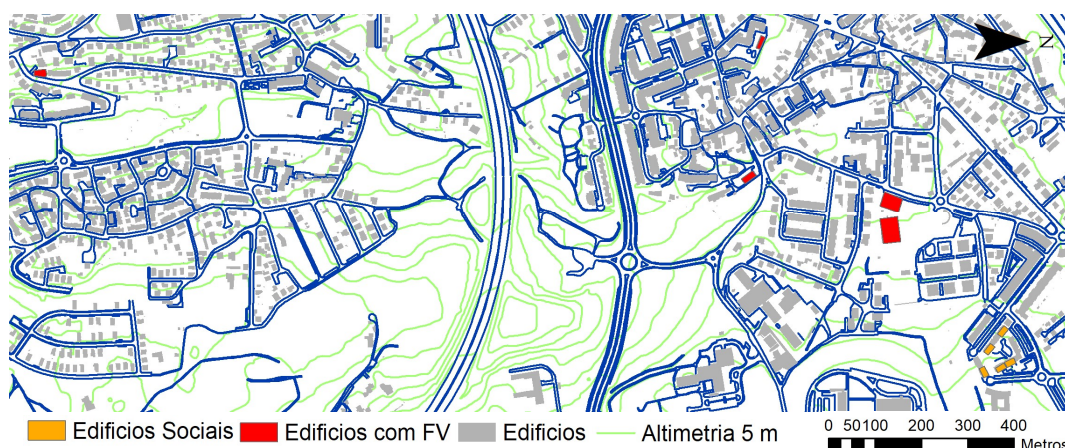


Fig. 1. Mapa com os edifícios da comunidade de energia

Neste momento já foi feito o levantamento do potencial de energia solar na cobertura dos edifícios, estando em curso o seu processamento e avaliação da sua disponibilidade e qualidade. Está também em curso a caracterização dos edifícios do projeto-piloto, o estudo para a implementação da comunidade de energia e o levantamento de informação sobre os habitantes do bairro social.

Numa primeira análise foi possível verificar que nenhum dos edifícios, produtores ou consumidores tem auditoria ou certificação energética, pelo que, a caracterização dos edifícios é o primeiro desafio a ultrapassar. O segundo desafio é conhecer melhor a comunidade do bairro social e para isso será necessário fazer inquéritos às famílias que aí residem para determinar por exemplo, o número de ocupantes de cada apartamento, o nível de conforto térmico, a capacidade de pagar as faturas de eletricidade, melhorias que gostariam de ver implementadas, etc.

Neste projeto a intervenção em termos sociais irá contemplar:

- O envolvimento da comunidade escolar e da vizinhança, para promover a cidadania energética;
- A promoção de campanhas de sensibilização e capacitação para a promoção da literacia climática dos cidadãos e das partes interessadas relevantes (por exemplo, associações de cidadãos, autoridades locais, empresas dos sectores mais relevantes);

- A replicação deste modelo de regeneração para todos os bairros sociais de Cascais, bem como para outros municípios da Área Metropolitana de Lisboa.

PROJETO RE-VALUE

Neste projeto já foi desenvolvido um roteiro inicial com o levantamento de informação relativa ao potencial e aos constrangimentos de cada um dos pilotos, nomeadamente, potencial renovável, certificação energética de edifícios, planos municipais, mobilidade e transportes, envolvimento dos cidadãos e partes interessadas, etc. O próximo passo no desenvolvimento do roteiro para a neutralidade climática de Cascais é a avaliação de um portfólio de soluções de mitigação, com base em diferentes cenários de desenvolvimento. Para tal, está a ser desenvolvida no LNEG uma ferramenta de simulação, descrita em Barbosa et al.. Esta ferramenta de apoio à decisão tem 3 componentes principais, ou simuladores, como ilustrado na Fig. 2. Cada um dos 3 simuladores tem objetivos e funções específicos:

- Simulador de cenários que permite desenhar de forma interativa cenários socioeconómicos para diferentes variáveis sectoriais que informam as tendências locais de descarbonização, desenvolvido com recurso ao Excel ©.
- Simulador de mitigação, que permite traduzir esses cenários em emissões de GEE, considerando a identificação e priorização de opções de mitigação (alterações tecnológicas e comportamentais) adaptadas à realidade dos municípios portugueses, sendo desenvolvido com recurso ao Excel ©.
- Simulador de mapeamento que permite mapear os "hot spots" de emissões de GEE à escala local, sendo desenvolvido com recurso ao ArcGIS ©.



Fig. 2. Ferramenta de apoio à decisão para o desenvolvimento da procura de energia e mobilidade para os planos de ação climática locais

Avaliação do Potencial Renovável

Nos parágrafos que se seguem apresenta-se o trabalho já desenvolvido para o projeto Re-Value. Com o objetivo de aumentar a utilização de energias renováveis no Município de Cascais para atingir os objetivos de neutralidade carbónica em 2050, foi realizada uma avaliação do potencial renovável de forma a quantificar o contributo que as diferentes fontes renováveis poderão dar para os objetivos energéticos da cidade, através da

utilização de microturbinas eólicas, conversores de energia das ondas e, principalmente, sistemas fotovoltaicos. Assim, foi efetuado o levantamento dos recursos eólico e solar para toda a cidade, e da energia das ondas para a costa de Cascais. Para a caracterização das fontes de energia renováveis disponíveis foram utilizados os 3 métodos seguintes.

Potencial Solar Urbano. A Irradiação Global Horizontal (IGH) média anual ao nível do solo e nas coberturas/telhados foi avaliada para o concelho de Cascais tendo em conta a orografia do terreno e a malha urbana (forma e cota dos edifícios). Para tal recorreu-se a um Modelo Digital de Terreno (MDT) onde se somou a malha urbana, representando assim, um Modelo Digital de Terreno Urbano: MDT-U. O mapeamento solar foi efetuado com base numa ferramenta de modelação da radiação solar incluída num Sistema de Informação Geográfica (SIG). As ferramentas de análise da radiação solar do SIG calculam a insolação numa determinada área, com base em métodos de visualização do algoritmo hemisférico desenvolvidos por Rich et al. e posteriormente melhorados por Rich e Fu. A quantidade total de irradiação calculada para um determinado local ou área é dada como irradiação global. O cálculo da irradiação direta, difusa e global é estimado para cada local na superfície topográfica, produzindo mapas de irradiação para toda uma área geográfica.

Potencial Eólico Urbano. A metodologia utilizada na criação do mapa de potencial eólico recorre ao mesmo MDT-U usado no caso da energia solar, podendo ser modelado como se se tratasse de um terreno muito complexo como entrada para um modelo de avaliação do recurso eólico (por exemplo, Wasp ou WindSim). Esta metodologia reduz fortemente os custos computacionais associados aos modelos computacionais de dinâmica de fluidos para simular grupos de edifícios; simplifica a geometria da malha urbana e permite alargar a área de simulação à escala do município. Os resultados obtidos são depois validados com dados experimentais obtidos em dois locais do concelho de Cascais – um sensor Lidar instalado na cobertura do Edifício de Interpretação Ambiental da Pedra do Sal, no Estoril (os dados utilizados referem-se ao período de junho de 2012 a maio de 2013 com correção inter-anual dos valores da velocidade média horizontal do vento) e uma estação anemométrica instalada no aeródromo de Tires, em São Domingos de Rana (período de medições entre 2009 e 2012). O detalhe dos procedimentos aplicados e resultados, podem ser consultados em Simões et al..

Potencial de Energia das Ondas ao largo da Costa. Segundo Mendes et al. a energia contida num estado de mar pode ser descrita a partir do seu espectro direcional de frequência e direção de propagação da onda. Os espectros aqui utilizados foram obtidos para um modelo de agitação marítima Mar3G (Ondatlas), aplicado neste caso a quatro locais (Cabo Raso, Guia, Cascais, Parede) do concelho de Cascais, que se irão apresentar nos mapas do potencial renovável. A partir de um conjunto de espectros representativos das ondas nestes quatro pontos, foi possível determinar a densidade de potência das ondas e a sua direção média para cada um destes pontos (e para cada espectro de onda observado no local) considerando a abordagem de Mendes et al. Foram determinados gráficos de dispersão da densidade de potência em função da direção média da potência, que conduziram à distribuição bivariada de probabilidades. Os gráficos polares da distribuição bivariada foram divididos em sectores de 30° com a denominação comumente utilizada (ex. Norte-Norte-Nordeste, N-NNE), e classes de potência que não estão igualmente espaçadas, aumentando o seu intervalo com o valor da densidade de potência.

Resultados Obtidos na Primeira Fase do Projeto

Tendo em conta a metodologia utilizada para a caracterização das fontes de ER descrita anteriormente, foram elaborados mapas para o potencial solar, para o potencial eólico e para o potencial da energia das ondas.

Potencial Renovável – Resultados da Análise Espacial. O recurso solar considerando a altimetria do terreno e a influência dos edifícios é mostrado na Fig. 3.a Os valores mais elevados correspondem a uma IGH anual de 1422 kWh/m² e os mais baixos a 143 kWh/m².

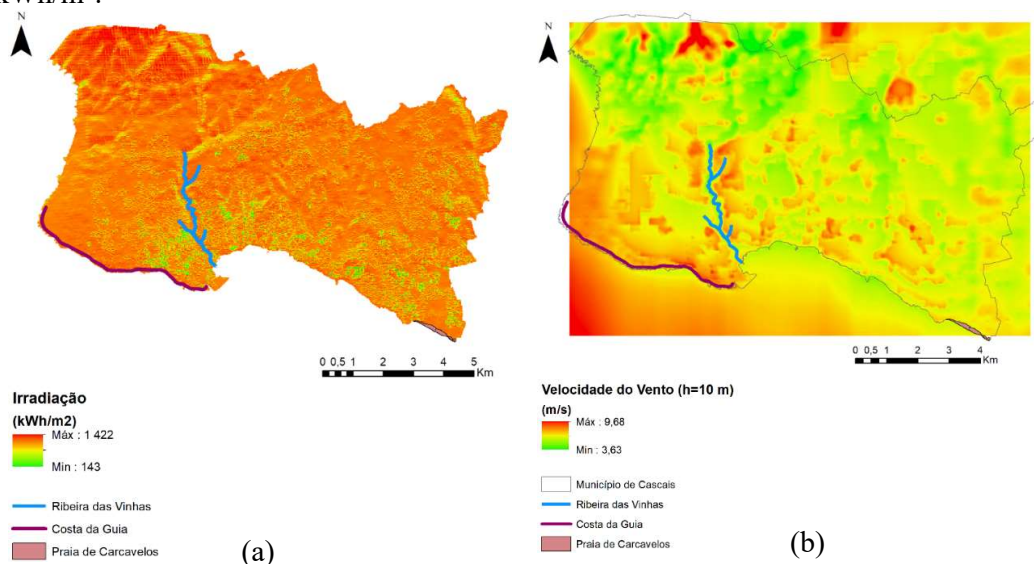


Fig. 3. (a) IGH média anual para Cascais considerando a altimetria do terreno e a influência dos edifícios; (b) Velocidade média do vento para Cascais a uma altura de 10 m acima dos edifícios

A Fig. 3.b representa a velocidade média do vento a uma altura de 10 m acima dos edifícios para o concelho de Cascais, onde o intervalo de velocidade do vento se situa entre 8 m/s e 3,6 m/s. A velocidade mais baixa é aproximadamente a velocidade de corte da maioria das pequenas turbinas eólicas, ou seja, a velocidade do vento a partir da qual a turbina começa a produzir eletricidade.

Para avaliar o potencial de energia das ondas ao longo da costa de Cascais, foram recolhidos dados para 4 locais que são apresentados na Fig. 4. A profundidade ao longo da costa foi também considerada e está representada nas linhas verdes de isobatimetria para 8, 16 e 30 m de profundidade.

A densidade de potência média anual para a energia das ondas em cada local foi obtida utilizando a função de densidade de probabilidade bivariada da densidade de potência e da direção da potência, conduzindo a um valor de 26 kW/m para o Cabo Raso, 19 kW/m para a Guia, 26 kW/m para Cascais e 15 kW/m para a Parede. Correspondendo à direção de Oeste para Este, o Cabo Raso é o local mais ocidental e a Parede é o mais oriental.

Esta avaliação de potencial será útil para os dois projetos, sendo que o potencial solar será particularmente relevante para o projeto WeGenerate.

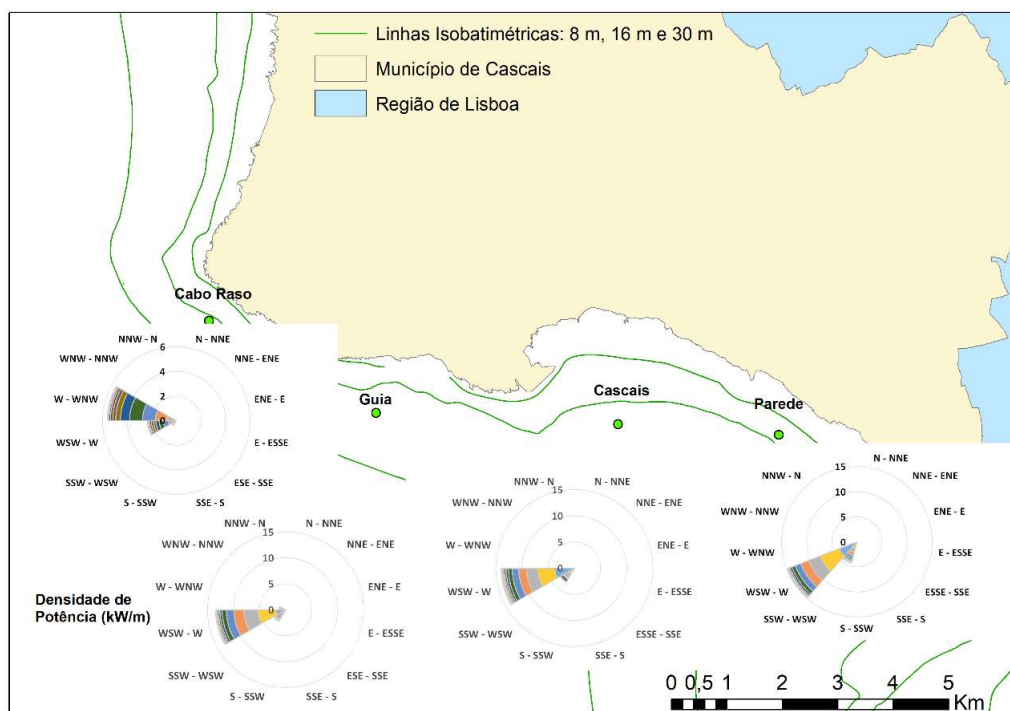


Fig. 4. Potencial da energia das ondas na costa de Cascais

COMENTÁRIOS FINAIS

Este artigo apresenta o trabalho preliminar desenvolvido até ao momento em Cascais no âmbito dos projetos Re-Value e WeGenerate. Os principais destaques vão para os objetivos estratégicos desta vila, a avaliação do seu potencial de ER e o incentivo à implementação de comunidades de energia. De acordo com o roteiro municipal para 2050, o maior potencial de redução das emissões equivalentes de CO₂ no município encontra-se nos sectores dos edifícios residenciais e dos transportes, logo, as medidas de mitigação prioritárias deverão focar-se nestes sectores. Como exemplo de medidas, podem referir-se, a melhoria da eficiência energética nos edifícios, começando pelos edifícios municipais ou geridos pelo município, a divulgação de informação sobre como os cidadãos podem ter acesso a fundos para a melhoria do desempenho energético das suas casas, facilitar a utilização de transportes públicos (a cidade já tem 44 linhas de autocarros municipais que são gratuitas para os habitantes da cidade, trabalhadores ou estudantes) e meios de transporte alternativos. Da mesma forma, a criação de áreas intermodais adicionais para reduzir o uso de veículos privados, e, promover incentivos aos utilizadores de Veículos Elétricos (VE), tais como, estacionamento gratuito em certas áreas da cidade, entre outras.

De acordo com os resultados obtidos até agora, é possível concluir que o município é caracterizado por um elevado potencial renovável, especialmente para o desenvolvimento de projetos solares fotovoltaicos. Em termos da localização dos pilotos, e olhando em detalhe para o que foi proposto para os dois projetos, a utilização de sistemas de energia renovável para a eletrificação da maioria das atividades, tem um grande potencial nessas áreas, tanto no projeto Re-Value como no projeto WeGenerate. Algumas possibilidades são a instalação de sistemas de sombreamento de estacionamento FV com estações de carregamento para VE na praia de Carcavelos e na costa da Guia, estações de carregamento FV para bicicletas elétricas na ciclovia da Ribeira das Vinhas e a instalação

de sistemas FV em coberturas e/ou fachadas. A expansão destas estratégias para outras áreas, para além destes projectos-piloto, deve também ser considerada.

Como trabalho futuro pretende continuar-se o desenvolvimento da ferramenta de apoio à decisão nas suas 3 vertentes e desenvolver também um *Digital Twin* para o bairro de Alcabideche que permita avaliar em detalhe as medidas a implementar no bairro social para melhorar o conforto dos seus habitantes, e também a energia produzida e os fluxos de energia entre edifícios.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento da investigação descrita neste trabalho através dos Programas Europeus HORIZON-MISS-2021-CIT-02-01 - Planeamento e conceção urbanos para cidades justas, sustentáveis, resilientes e com impacto neutro no clima até 2030 - Projecto Re-Value, ID 101096943 e HORIZON-CL5-2022-D4-02-02 - Soluções para a regeneração sustentável, resiliente, inclusiva e acessível de bairros que permitam estilos de vida e empresas com baixa pegada de carbono - Projeto WeGenerate, ID 101123546.

REFERÊNCIAS

Barbosa, J., et al (2024). Ferramenta de apoio à decisão de simulação para o desenvolvimento da procura de energia e mobilidade para planos locais de ação climática. *LNEG no âmbito de uma colaboração com o município de Almada* (não publicado), Março de 2024.

Rich, P.M., W.A. Hetrick, and S.C. Saving. 1995. Modeling Topographic Influences on Solar Radiation: a manual for the Solarflux model. *Los Alamos National Laboratory Report LA-12989-M*.

Rich, P.M., Fu P., Problems, Prospects and Research Needs. *4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4)*, Banff, Alberta, Canada, September 2 - 8, 2000.

Simões, T., Estanqueiro, A. A new methodology for urban wind resource assessment. *Renewable Energy*, Elsevier, pp. 598–605, Volume 89, April 2016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.008>.

Mendes, R.P.G., Calado M.R.A., Mariano S.J.P.S., Wave energy potential in Portugal – Assessment based on probabilistic description of ocean waves parameters, *Renewable Energy*, Vol. 47, 2012, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.009>.