

**DNI ALENTEJO – AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE MÉDIA ANUAL DE IRRADIAÇÃO
DIRECTA NORMAL NO ALENTEJO****Cavaco A.*, Canhoto P.**, Collares-Pereira M.*, Horta P.****

* Universidade de Évora, Cátedra Energias Renováveis, Rua D. Augusto Eduardo Nunes, n.7, 7000-651 Évora, Portugal, phorta@uevora.pt

** Universidade de Évora, Departamento de Física e ICT – Instituto de Ciências da Terra, Rua Romão Ramalho no.59, 7002-671 Évora, Portugal, canhoto@uevora.pt

<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.6106>

RESUMO

O presente trabalho descreve os progressos realizados na avaliação do recurso solar na região sul de Portugal, com especial foco no Alentejo, com recurso à rede de medida do projeto DNI-Alentejo, composta actualmente por 13 locais de medição distribuídos por diferentes localizações. Esta rede é resultado de uma iniciativa recente, iniciada em 2014, e como tal ainda não dispõe de uma quantidade suficiente de dados estatisticamente significativos. Contudo, possibilita, desde já, a estimativa da disponibilidade média anual de Irradiação Directa Normal (DNI) na região do Alentejo, a qual é conhecida pela sua elevada disponibilidade de Irradiação Global Horizontal (GHI) e a sua baixa variabilidade inter-anual.

Com base nas medidas realizadas até ao final de 2019, a disponibilidade média anual de DNI obtida varia entre 1918 kWh/m²/ano e os 2097 kWh/m²/ano. Estes resultados foram obtidos através da análise de dados de 8 estações de medida.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar, Radiação Solar, DNI

ABSTRACT

This work describes the progresses made in the assessment of solar resource in the south of Portugal, with special focus on Alentejo, using the DNI-Alentejo project solar radiation measurement network, which comprises 13 measuring sites, in different locations. This network results from a recent initiative, which began in 2014 and, therefore, it still does not have the sufficient amount of data to be considered statistically significant. Nevertheless, it already allows preliminary studies to estimate the mean annual Direct Normal Irradiation (DNI) availability in the region of Alentejo, which is known for its high Global Horizontal Irradiation (GHI) mean annual availability and its low interannual relative variability.

With basis in the measurements performed until the end of 2019, the obtained mean annual DNI availability ranges from 1918 kWh/m²/year to 2097 kWh/m²/year. These results were obtained through the analysis of data from 8 measuring sites.

KEYWORDS: Solar Energy, Solar Radiation, DNI

INTRODUÇÃO

A estratégia nacional para a Transição Energética assenta em larga medida numa penetração significativa do recurso solar nas fontes de energia primária. Com uma forte aposta no uso da electricidade como fonte de energia final, o recurso solar assume um papel de relevo no futuro do sistema eletroprodutor por via da energia solar fotovoltaica (PV) e da energia solar concentrada (CSP).

As entidades reguladoras de Portugal definiram recentemente objectivos específicos para se proceder a uma profunda descarbonização da economia com a introdução do Plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) com o objectivo de garantir políticas coerentes entre as áreas de energia e clima para alcançar as metas definidas para o horizonte 2030, em articulação com o Roteiro Nacional para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050). De acordo com os objectivos expressos no PNEC 2030 espera-se que a capacidade de energia solar fotovoltaica instalada em Portugal aumente de 0.5 GW em 2015 para 8.1-9.9 GW em 2030, correspondendo a uma quota de 22%-27% da energia eléctrica anual média gerada em Portugal. Prevê-se ainda que esta quota possa aumentar até 50% em 2050 (PNEC 2030, 2019; RNC 2050, 2019). Para o CSP apresenta-se uma meta mais modesta, de 300 MW em 2030, com tendência a aumento assim sejam considerados os reais benefícios em despachabilidade para o sistema eletroprodutor.

Se para a estimativa de produção de centrais PV a informação de recurso solar GHI é suficiente, a utilização de ópticas concentradoras nos sistemas CSP torna essencial a disponibilidade de informação relativa à DNI.

Antecipando este contexto, uma rede de medição de radiação solar, com foco na medição da radiação solar directa (DNI) foi criada em 2014, com especial foco na região do Alentejo. Esta infraestrutura providencia informação de elevada importância para os decisores políticos aquando da definição de novas políticas e planos e é essencial para o planeamento e construção de centrais CSP que requerem informação precisa sobre a disponibilidade média anual de DNI.

As medições de DNI ao nível do solo não têm sido realizadas a uma escala comparável com a das medições de GHI e até à escala da radiação solar difusa (DHI), devido aos desafios técnicos que estas medições envolvem e ao, ainda, recente interesse nas aplicações de concentração solar para construção de centrais CSP. Assim, actualmente, apenas existe uma boa cobertura geográfica de medidas GHI e DHI ao nível do solo. Estas medidas são mais fáceis de realizar, uma vez que os sensores são fixos, requerendo apenas simples operações de manutenção e no caso de medidas DHI, tipicamente, apenas é necessário realizar alguns ajustes da banda de sombreamento ao longo do ano. Pelo contrário, medir DNI requer equipamentos dispendiosos para realizar o seguimento contínuo da posição do sol. As tecnologias de concentração solar, principalmente CSP, estão a impulsionar a instalação de estações de medição de DNI, para fornecimento de dados fiáveis para as fases de projecto e design adequado desses sistemas, com fiabilidade suficiente nas estimativas de produção energética, de modo a facilitar o financiamento e seguro de desempenho dos grandes investimentos realizados para este tipo de centrais solares. Uma vez instaladas as centrais, este tipo de medições é, também, essencial para a monitorização de desempenho de operação da central.

Nos locais em que não existem medidas de DNI, torna-se necessário recorrer a dados satélite. Contudo, este tipo de dados não é tão fiável quanto as medidas ao nível do solo, sendo a sua precisão afectada por condições atmosféricas (nuvens, aerossóis, etc) e pelas características e condições do solo, as quais são diferentes de local para local e variam ao longo do tempo. Estes tipos de modelos apresentam diferentes respostas e evidenciando diferentes desvios mediante o local em estudo. Contudo, nos casos em que não existe validação de dados para locais próximos, os modelos de dados de satélite estimam o DNI com base na suposição de que a resposta é consistente com os locais de validação mais próximos. Os dados de satélite existentes resultam de modelos dedicados que necessitam de medições terrestres de alta qualidade para efeitos de calibração de modo a reduzir erros nos resultados. Na Europa, por exemplo, a Solargis estima um desvio (BIAS) médio de $\pm 9\%$ a $\pm 14\%$ para DNI e de $\pm 4\%$ a $\pm 8\%$ para GHI, em termos de valores médios anuais (Cebecauer e Suri, 2016; Solargis, 2019).

Existem vários produtos que providenciam dados de irradiância solar com base em imagens satélite. A análise e comparação desses produtos mostraram que o GHI é estimado com BIAS reduzido e desvio padrão (SD) de 17% a 24%; DNI com BIAS de -10% a + 12% e com SD de 34% a 49%; DHI com BIAS de -16% a 23% e com SD de 35% a 58% (Ineichen, 2014). Globalmente, todos os modelos baseados em imagens satélite tendem a subestimar o DNI em condições de céu limpo e sobestimá-lo em condições intermédias (Ineichen, 2014).

A falta de medições DNI ao nível do solo é um problema comum, com apenas algumas instalações no mundo a serem reportadas, sem cobertura de geográfica significativa (Moreno-Tejera et al, 2016; Perez-Astudillo e Bachour, 2014). No entanto, existem algumas infraestruturas organizadas em todo o mundo que desenvolveram capacidades para avaliar a DNI em grandes áreas geográficas, tornando possível a avaliação rigorosa e o mapeamento geográfico da disponibilidade de energia solar (Zell et al, 2016; Kumar et al, 2014).

A existência de dados de radiação solar medidos ao nível do solo, especialmente para o caso de DNI visto que os produtos com base em imagens satélite ainda providenciam resultados com uma elevada incerteza associada, é essencial para a indústria do CSP para efeitos de bancabilidade e financiamento de projectos comerciais.

Com esse objectivo em mente, uma rede de medição de radiação solar, com foco na medição de DNI, foi iniciada em 2014 em Portugal, com foco na região do Alentejo, para fornecer medidas fiáveis para avaliar os melhores locais para a construção de centrais CSP (Cavaco et al, 2016). Esta rede tem crescido e hoje proporciona uma distribuição

densa de estações de medição no Sul de Portugal, garantindo uma boa cobertura regional. Espera-se que a quantidade de estações aumente, principalmente na região sudoeste do país para consolidar a cobertura geográfica, podendo referir-se que o tipo e a escala do esforço relatado têm características pioneiras .

DADOS EXPERIMENTAIS

A rede de medição DNI-Alentejo é constituída por 13 estações de medida distribuídas, maioritariamente, pelo Sul de Portugal, onde foram instaladas 8 estações de medição (Figura 1 e Tabela 1). Duas estações localizam-se na costa oeste de Portugal, uma em Lisboa no centro da cidade e outra em Sines, junto à costa. Na zona leste de Portugal, junto à fronteira com Espanha, existem estações em Portalegre, Moura e duas em Martim Longo, no Algarve. No Algarve, existe ainda uma outra estação em Olhão, no centro do Algarve junto à costa. Na zona central do Alentejo existem 5 estações, 4 na zona Évora e uma em Beja.

A distribuição actual das estações meteorológicas, considerando as diferentes localizações, providencia uma boa cobertura das diferentes e relevantes condições ambientais e climáticas, permitindo assim uma interpolação geográfica de DNI significativa e com confiança sobre a região. Espera-se que, num futuro próximo, uma nova estação de medição seja instalada na região Sudoeste para melhorar a maior cobertura geográfica e delimitar melhor a área em análise, melhorando assim a precisão dos processos de interpolação. As coordenadas geográficas e altitude das estações são descritas na Tabela 1 e mapeadas na Figura 1.

Tabela 1. Localização geográfica das estações de medida e período de dados analisado

Estação	Latitude (°N)	Longitude (°O)	Altitude (m)	Período de dados
Évora 1 (PECS)	38.5306	8.0112	222	01/2015 to 12/2019
Évora 2 (Verney)	38.5677	7.9117	276	03/2015 to 12/2019
Évora 3 (EMSP)	38.5289	8.0053	231	n/d
Évora 4 (EDPI)	38.5417	7.9632	228	n/d
Portalegre	39.2692	7.4428	342	04/2015 to 12/2019
Beja	38.0249	7.8672	252	09/2017 to 12/2019
Lisboa	38.7734	9.1779	111	01/2015 to 12/2019
Sines	37.9576	8.8473	99	05/2015 to 06/2019
Moura	38.1329	7.4536	207	n/d
Oporto	41.1793	8.5943	159	n/d
Martim Longo 1 (Capwatt)	37.4410	7.7491	282	01/2015 to 12/2019
Martim Longo 2 (Enercoutim)	37.4431	7.7409	283	n/d
Olhão	37.0329	7.8546	6	n/d

As estações cujo período de dados se encontra identificado como “n/d” não foram analisadas no âmbito deste trabalho por falta de dados, por serem redundantes com outra estação próxima e pela menor quantidade de dados em comparação com uma estação próxima. Cada estação foi instalada e começou a medir em momentos diferentes, portanto, o período de medição para cada localização varia.

A configuração das estações de medição consiste, normalmente, em um seguidor solar Kipp & Zonen Solys2 equipado com um pireliómetro CHP1 para medir DNI, dois piranómetros CMP 11 para medir GHI e DHI e um dispositivo de sombreamento para bloquear a componente directa da radiação solar proveniente do disco solar no piranómetro que mede DHI (Kipp & Zonnen). Os sistemas de aquisição de dados e frequência de amostragem são diferentes entre as estações, visto estas terem propósitos diferentes, tais como investigação ou para operação e controle de campos solares. Contudo, estas diferenças não são significativas no processo de tratamento de dados para avaliação de recurso solar, uma vez que são calculados valores médios para períodos de tempo superiores ao período de amostragem.

As estações possuem um protocolo de limpeza dos sensores que consiste na limpeza semanal das cúpulas e verificação mensal da sílica.

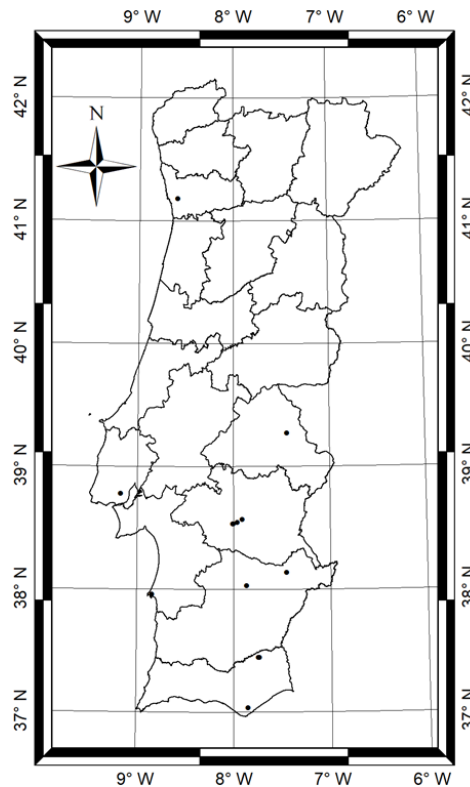


Fig. 1 - Distribuição geográfica das estações de medição da rede DNI-Alentejo

PROCEDIMENTO DE VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DOS DADOS EXPERIMENTAIS

De modo a analisar e comparar dados de modo consistente, os sensores das estações são regularmente calibrados com os mesmos dois sensores de referência, um CMP11 para calibrar piranómetros e um CHP1 para calibrar pireliómetros. O procedimento de calibração consiste em periodicamente, a cada dois anos, instalar os sensores de referência em paralelo com os sensores de cada estação e comparar as leituras de modo a certificar de que todos os sensores estão a medir com relativa consistência, de acordo com as normas ISO 9059: 1990 e 9847: 1992. Outro método para verificar continuamente a consistência das medidas é através da comparação dos valores de GHI (I_h), DHI (I_d) e DNI ($I_{b,n}$) de acordo com a função de fecho de energia, Eq. (1) (Rabl, 1985):

$$I_h = I_d + I_{b,n} \times \cos\theta \quad (1)$$

onde θ é o ângulo solar zenital, determinado de acordo com o algoritmo de posição do sol (SPA) do NREL (Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos da América), que é o ângulo entre a radiação proveniente do sol e o elemento sensor do piranómetro que mede GHI (Reda e Andreas, 2003).

Esta verificação de consistência é um modo de verificar que os três instrumentos calibrados de alta qualidade estão a medir correctamente, com o sistema de seguimento solar e o pireliómetro alinhados com o sol, acrescentando, assim, confiança significativa às medições realizadas (McArthur, 2005). Analisar a qualidade dos dados recorrendo ao GHI medido e determinado (Eq. 1) é uma forma de reduzir os erros, uma vez que apenas um piranómetro considerado, o que mede o DHI. Os piranómetros têm uma resposta angular a qual resulta em erros maiores para ângulos zenitais elevados, enquanto os pireliómetros não têm este tipo de erros. Analisar a qualidade dos dados da perspectiva do DNI incorreria a erros de maior dimensão devido à inclusão de duas leituras provenientes de piranómetros, onde o erro de medição de DHI seria menor do que o erro de GHI devido à atenuação de valores medidos devido ao sombreamento.

O *zero offset* das leituras dos sensores de radiação é corrigido através da média dos registos para a hora anterior ao crepúsculo astronómico da manhã ($\theta > 108^\circ$) e dos registos para o período equivalente após o pôr do sol. O *zero offset* médio diário é então subtraído aos dados medidos naquele dia. Esta correcção um procedimento padrão e assume que a troca líquida de radiação infravermelha entre os sensores e o ambiente é constante ao longo do dia (McArthur, 2005).

As medições de DNI não começaram na mesma data em todos os locais e a taxa de amostragem e os formatos de dados são diferentes entre os vários locais. Essas diferenças requerem uma metodologia de processamento de dados para permitir a análise e comparação para diferentes estações.

Não existe uma metodologia padrão ou amplamente aceite para análise e garantia de qualidade de dados de irradiância solar e, normalmente, cada instituição usa sua própria metodologia (Gueymard e Ruiz-Arias, 2016). A metodologia utilizada encontra-se representada no fluxograma da Figura 2 (Cavaco et al, 2020).

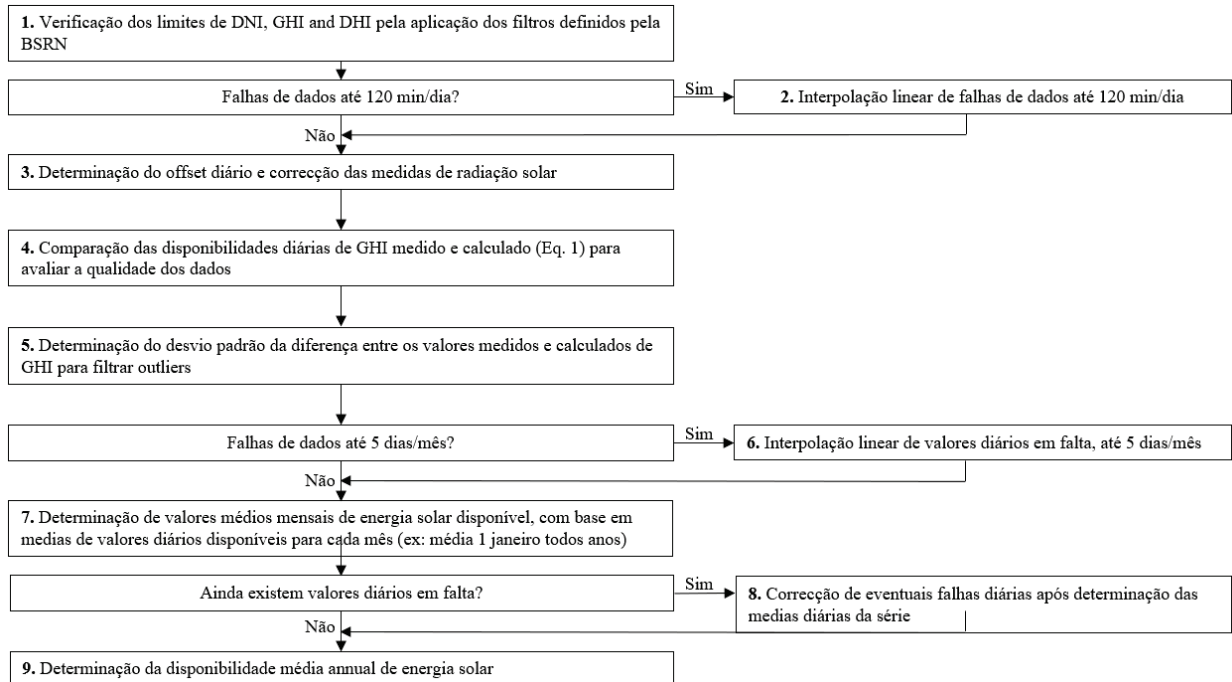


Fig. 2 – Fluxograma do procedimento de tratamento de dados (Cavaco et al, 2020).

ANÁLISE DE QUALIDADE DE DADOS

Com o objectivo de avaliar a qualidade das medições, comparou-se o GHI medido e o GHI calculado, Eq. 1, de acordo com os passos 4 e 5 da Fig.2. Tal comparação destaca a qualidade das medições, esperando-se que medidas de qualidade apresentem uma baixa dispersão. Considerou-se que se a diferença entre o valor esperado e o medido for superior a 5 desvios padrão, então esses registos são considerados inválidos. Este procedimento é uma forma de garantir que todos os instrumentos estão a medir em condições adequadas: devidamente calibrados, com boa manutenção, o seguidor solar está bem alinhado e não existem obstruções devido a interferências do horizonte. Este método pode ser aplicado aos valores diários de irradiação, uma vez que pequenos erros não são significativos nesses períodos de tempo, revelando um impacto residual no resultado final.

A Fig. 3 exemplifica a aplicação dos passos 5 e 6 da Fig.2 para a estação Évora 1, sobre a forma de valores ao minuto. Como se pode observar, ao comparar o GHI medido e calculado a dispersão já é reduzida. Contudo, os autores optaram por introduzir um outro filtro de qualidade, filtrando pontos fora do intervalo ± 5 STD ou $\pm 0,5$ kWh/m²/dia, o que for menor (Cavaco et al, 2020). O filtro proposto garante que apenas dados de elevada qualidade sejam usados. Os pontos removidos referem-se aos dias em que as medições foram afectadas durante períodos de tempo significativos, causando um desvio nos valores medidos em relação aos valores GHI calculados. Se ocorrerem pequenos desvios, durante um curto período de tempo, o impacto no dia é desprezível e não será suficiente para se destacar no controlo de qualidade.

O procedimento proposto pode ser usado como forma de garantir a qualidade dos dados em diferentes escalas de tempo. Os autores consideram que para fins de avaliação de longo prazo o procedimento é adequado, uma vez que filtra apenas pontos de dados em que as medidas diferem significativamente dos valores diários esperados.

O detalhe da análise de qualidade dos dados experimentais é extenso, servindo a Fig.2 como síntese do procedimento utilizado. Uma análise detalhada pode ser encontrada em (Cavaco et al, 2020).

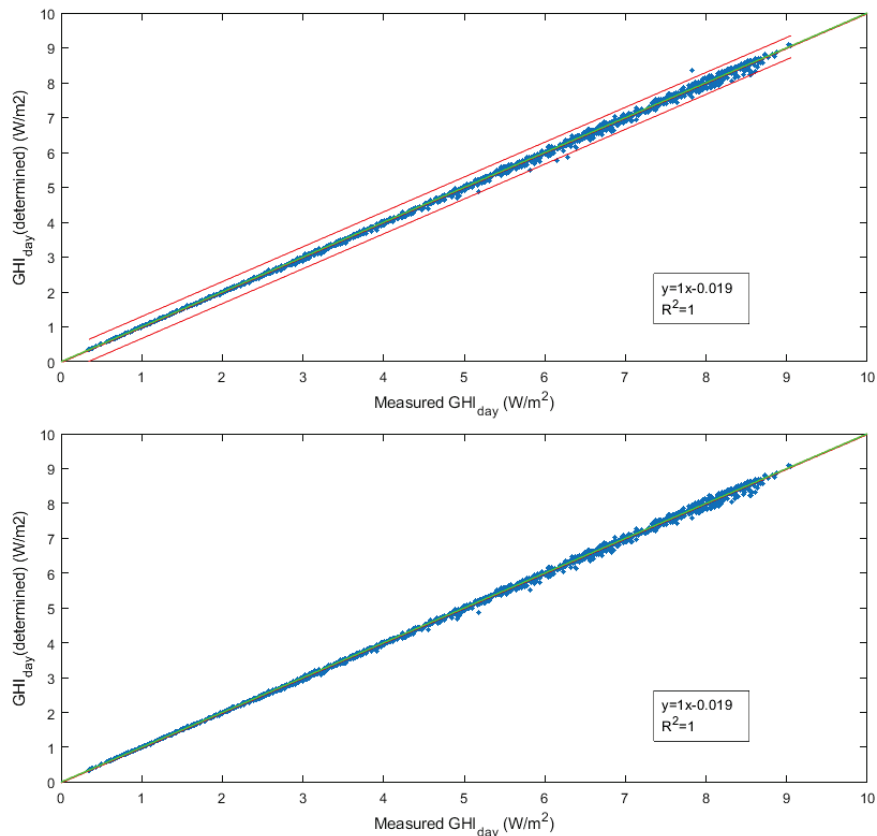


Fig. 3 – Aplicação de filtro de qualidade para a estação de Évora 2: linha verde – eq. de ajuste, linhas vermelhas: banda de confiança (Cavaco et al, 2020).

DISPONIBILIDADE MÉDIA ANUAL DE DNI NO ALENTEJO

Determinou-se a disponibilidade média anual de energia solar, Fig.4, para cada componente da radiação solar. Os resultados mostram que a disponibilidade média de DNI varia entre 1876 e 2097 kWh/m²/ano no Sul de Portugal. Tendo por base a disponibilidade média anual de energia solar para cada local, Tabela 2, gerou-se um mapa com recurso a técnicas de interpolação geográfica para estimar a disponibilidade média anual de DNI da região, Fig. 4. O mapa é apenas indicativo e o seu objectivo é apresentar uma estimativa da distribuição geográfica do DNI médio anual na região do Alentejo.

Esta rede de medida ainda precisará de mais anos, normalmente de pelo menos 10 anos consecutivos, para produzir uma avaliação estatística significativa da disponibilidade de radiação solar. Entretanto, a rede é fundamental para o desenvolvimento de várias linhas de investigação e para providenciar resultados das medições e estimativas.

Tabela 2 – Disponibilidade média anual de radiação solar, por componente, em cada estação

Station		DHI (kWh/m ² /ano)	GHI (kWh/m ² /ano)
Évora 1 (PECS)	2019	546	1754
Évora 2 (Verney)	2097	543	1786
Portalegre	2027	531	1757
Beja	2058	548	1789
Lisboa	1918	527	1715
Sines	2081	565	1824
Martim Longo 1	2086	NA	1843

Os dados da estação de Moura foram analisados, contudo as disponibilidades médias anuais obtidas foram abaixo do esperado. Deste modo, procedeu-se a uma análise detalhada dos dados e detectaram-se vários problemas técnicos no sistema de seguimento solar que levaram os autores a não incluir os dados no estudo.

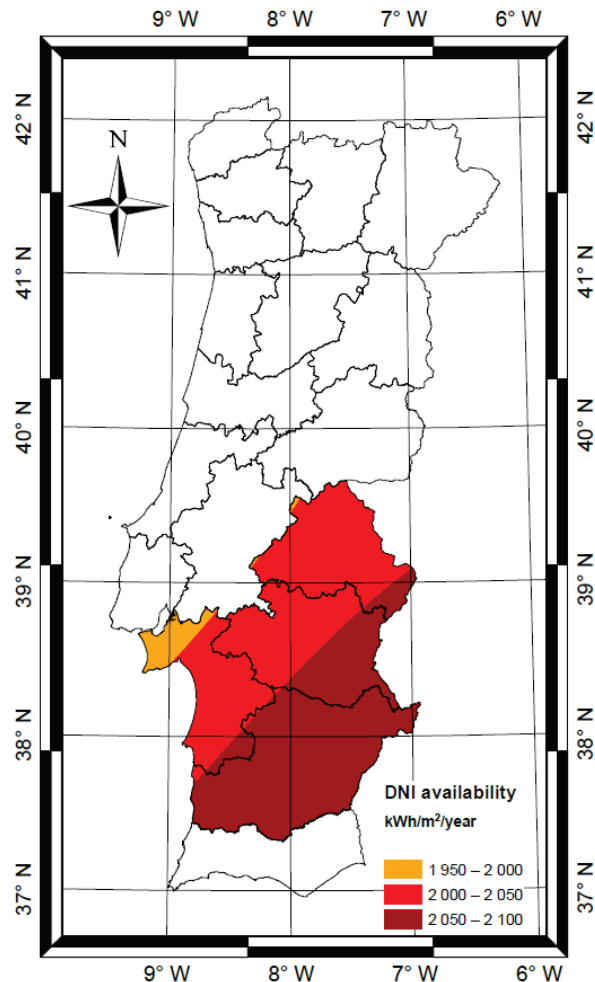


Fig. 4 – Disponibilidade média de DNI ($\text{kWh/m}^2/\text{ano}$) na região do Alentejo (Cavaco et al, 2020).

O padrão de distribuição da disponibilidade média anual de DNI obtido na Fig.4 encontra-se em linha com o obtido em estudos prévios (Cavaco et al, 2016b, Cavaco et al, 2016c).

CONCLUSÕES

Este trabalho descreve o esforço de medição de radiação solar, com foco na DNI, no sul de Portugal. Destaca-se o procedimento de recolha e processamento de dados de radiação solar, com ênfase na garantia da qualidade dos dados. Foram utilizados dados de uma rede de treze estações de medição DNI, DHI e GHI no Sul de Portugal, das quais foram seleccionadas oito, para desenvolver e aplicar um procedimento de produção de séries de dados filtrados e contínuos com a finalidade de avaliar o recurso solar local. O procedimento proposto é robusto e leva em consideração parâmetros operacionais, como verificação física e extremamente rara do limite físicos, ao mesmo tempo que fornece uma metodologia para minimizar o efeito da falta de dados na avaliação da disponibilidade de energia solar. Porém, existem situações em que os procedimentos de controle de qualidade dos dados não conseguem identificar problemas operacionais. Esse tipo de problemas só pode ser identificado por inspecção visual de dados, como aconteceu para o caso da estação de Moura.

A implementação de filtros com base em uma faixa de confiança de 5 STD ou $0,5 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ de diferença entre GHI medido e calculado filtragem de desvios evidenciou uma qualidade de dados generalizada nas estações da rede de medida, assegurando-se assim uma qualidade acrescida de dados. Este controlo fino de qualidade é apresentado como uma nova maneira de filtrar problemas de qualidade de dados.

A rede DNI-Alentejo ainda precisará de mais anos de operação para produzir resultados estatísticos realmente significativos; normalmente, são necessários 10 anos de dados. No entanto, os valores medidos já podem ser usados para produzir estimativas de disponibilidade de DNI. Por outro lado, diversas linhas de investigação em desenvolvimento beneficiam das medidas realizadas por esta rede. Num futuro próximo, espera-se que a rede se expanda e aumente, assim, a sua cobertura geográfica, com uma nova estação no sudoeste de Portugal, no baixo Alentejo ou mesmo no Algarve.

Esta rede, pelas suas características e ligação com outros projectos de investigação poderá levar ao desenvolvimento de novas linhas de investigação no campo de previsão a diferentes escalas de tempo, como o *nowcasting*.

AGRADECIMENTOS

Esta rede foi financiada por QREN – Quadro de Referência Estratégico Nacional, INALENTEJO, com a referência ALENT-07-0827-FEDER-002316 e por Alentejo 2020 - Programa Operacional Regional do Alentejo através do projeto DNI-ALENTEJO, com a referência ALT20-03-0145-FEDER-000011. Os autores reconhecem o financiamento providenciado pelo ICT, pelo contrato UID/GEO/04683/2013 com a FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia e ao COMPETE POCI-01-0145-FEDER-007690.

REFERÊNCIAS

- A. Cavaco, H. G. Silva, P. Canhoto, S. Neves, J. Neto and M. Collares-Pereira, Annual Average Value of Solar Radiation and its Variability in Portugal, Workshop On Earth Sciences 2016
- A. Cavaco, H. G. Silva, P. Canhoto, S. Neves, J. Neto and M. Collares-Pereira, Technical Report: Radiação Solar Global em Portugal e a sua variabilidade, mensal e anual, 2016
- A. Cavaco, P. Canhoto, M. J. Costa, M. Collares-Pereira, “DNI Measurements in the South of Portugal: Long Term Results through Direct Comparison with Global and Diffuse Radiation Measurements and Existing Time Series”, AIP Conference Proceedings 1734, 150001 (2016); Doi: 10.1063/1.4949233.
- A. Cavaco, P. Canhoto, M. Collares Pereira, Procedures for solar radiation data gathering and processing and their application to DNI assessment in Southern Portugal, Renewable Energy (under revision), 2020
- A. Kumar, S. Gomathinayagam, G. Giridhar, I. Mitra, R. Vashistha, R. Meyer, M. Schwandt, K. Chhatbar, Field Experiences with the Operation of Solar Radiation Resource Assessment Stations in India, Energy Procedia, Volume 49, 2014, Pages 2351-2361, ISSN 1876-6102, DOI: 10.1016/j.egypro.2014.03.249.
- D. Perez-Astudillo, D. Bachour, DNI, GHI and DHI Ground Measurements in Doha, Qatar, Energy Procedia, Volume 49, 2014, Pages 2398-2404, ISSN 1876-6102, DOI: 10.1016/j.egypro.2014.03.254.
- DGEG – Direccção Geral de Energia e Geologia, Leilão 7 AGosto 2019 - Resultado final
- Erica Zell, Sami Gasim, Stephen Wilcox, Suzan Katamoura, Thomas Stoffel, Husain Shibli, Jill Engel-Cox, Madi Al Subie, Assessment of solar radiation resources in Saudi Arabia, Solar Energy, Volume 119, 2015, Pages 422-438, ISSN 0038-092X, DOI: 10.1016/j.solener.2015.06.031.
- Gueymard, C. A., & Ruiz-Arias, J. A. (2016). Extensive worldwide validation and climate sensitivity analysis of direct irradiance predictions from 1-min global irradiance. Solar Energy, 128, 1–30. doi:10.1016/j.solener.2015.10.010
- Kipp & Zonnen. (n.d.). Retrieved November 18, 2019 from <http://www.kippzonnen.com/>
- McArthur L.J.B., Baseline Surface Radiation Network (BSRN), Operations Manual, (2005)
- Pierre Ineichen, Long Term Satellite Global, Beam and Diffuse Irradiance Validation, Energy Procedia, Volume 48, 2014, Pages 1586-1596, ISSN 1876-6102. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.02.179.
- PNEC 2030 – Plano Nacional de Energia e Clima. December 2019. Retrieved September 04, 2020, from https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/pt_final_necp_main_pt.pdf
- Rabl, A. (1985). Active Solar Collectors and Their Applications. New York, NY. Oxford University Press
- Reda, I.; Andreas, A. (2003). Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications. 55 pp.; NREL Report No. TP-560-34302, Revised January 2008.
- RNC – 2050 Roteiro para a Neutralidade Carbónica. June 2019. Retrieved September 04, 2020, from https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050_PT-22-09-2019.pdf
- S. Moreno-Tejera, M.A. Silva-Pérez, I. Lillo-Bravo, L. Ramírez-Santigosa, Solar resource assessment in Seville, Spain. Statistical characterisation of solar radiation at different time resolutions, Solar Energy, Volume 132, 2016, Pages 430-441, ISSN 0038-092X, DOI: 10.1016/j.solener.2016.03.032.

SOLARGIS. (n.d.). Retrieved November 18, 2019 from <http://solargis.com/support/accuracy-and-comparisons/overview/>

T. Cebecauer, M. Suri, "Site-adaptation of satellite-based DNI and GHI time series: Overview and SolarGISapproach", AIP Conference Proceedings 1734, 150002 (2016); Doi: 10.1063/1.4949234.