

# RADIAÇÃO SOLAR: ESTUDO E CRIAÇÃO DE PLATAFORMA DE APOIO À CONCEÇÃO DE UM SENSOR DE RADIAÇÃO SOLAR

ANDRÉ ALBINO

*Universidade de Évora, Centro de Geofísica de Évora, Évora*  
*aalbino@uevora.pt*

RUI SALGADO

*Universidade de Évora, Centro de Geofísica de Évora, Évora*

MOUHAYDINE TLEMÇANI

*Universidade de Évora, Centro de Geofísica de Évora, Évora*

Este trabalho apresenta os resultados de uma plataforma de simulação da radiação solar. A plataforma de simulação apresentada permite simular radiação solar através de dados medidos ou dados históricos. Para utilização dos dados históricos, apresenta-se o instrumento *Environment Simulator* que juntamente com a base de dados meteorológicos permite obter variáveis meteorológicas para qualquer posição e tempo. Os resultados da utilização da plataforma de simulação de radiação solar foram comparados com os valores medidos durante na campanha ALEX2014.

Palavras chave: Instrumento virtual; *Environment simulator*; Radiação Solar.

## 1 Introdução

Este trabalho apresenta dois instrumentos virtuais: o *Environment Simulator* e a plataforma de simulação da radiação solar. Estes instrumentos são descritos de forma sucinta, apresentando-se o seu funcionamento e resultados.

## 2 Environment Simulator

Criou-se um instrumento virtual - *Environment Simulator*- que permite simular grandezas climáticas em qualquer parte do globo e em qualquer altura do ano. O instrumento encontra-se dividido em subcomponentes, cada qual possuindo funções específicas.

Este instrumento virtual fornece um valor por cada variável meteorológica para o local e o instante fornecidos pelo utilizador. Para o funcionamento do instrumento, o utilizador pode fornecer valores das variáveis meteorológicas ou utilizar dados históricos da base de dados associada ao instrumento. Recorrendo à base de dados, o utilizador pode obter diversos valores das variáveis, podendo assim descrever variados cenários meteorológicos. Existe assim uma lista de perfis meteorológicos que o utilizador pode seleccionar dando, além disso, a hipótese de criar novos perfis. Os perfis já criados são apresentados na tabela 1.

Este instrumento efetua interpolação temporal e espacial dos dados quer sejam fornecidos pelo utilizador quer sejam retirados da base de dados.

Tabela 1 - Perfis meteorológicos

Cenário id	Cenário Ambiental	Condições
0	Médio	Valor médio de todas as variáveis
1	Dia quente e luminoso	Temperatura max, céu limpo, radiação solar max, concentração máxima de ozono
2	Dia quente e algumas nuvens	Temperatura perc95, radiação solar média, cobertura de nuvem parcial, humidade max
3	Noite quente	Temperatura max, cobertura total de nuvens, irradiação térmica descendente max
4	Dia frio	Temperatura min, cobertura total de nuvens, irradiação solar descendente mi $\Omega$
5	Dia frio e luminoso	Temperatura perc5, céu limpo, radiação solar perc95
6	Noite fria	Temperatura min, radiação térmica min, céu limpa.
7	Tempestade	Cobertura total de nuvens, velocidade de vento max, precipitação max, humidade perc95
8	Nevoeiro	Humidade 100%
9	Radiação máxima	Radiações máximas, concentração de ozono mínima, coberturas de nuvens mínimas, precipitação mínima, coluna de vapor de água e água mínimas
10	Radiação mínima	Radiações mínimas, concentração de ozono máxima, coluna de vapor de água e água máximas

### 1.1. *Base de dados*

A referida base de dados climática foi gerada a partir das reanálises meteorológicas do projeto ERA-40 do Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio Prazo [1]. Para gerar a base de dados foram utilizados os dados compreendidos no intervalo temporal de 1 de janeiro de 1958 até 31 de dezembro de 2001. Estes dados encontram-se numa grelha regular de 1 por 1 grau e com um intervalo temporal de 3 horas. Os dados foram processados estatisticamente, resultando em um valor médio, máximo, mínimo, desvio padrão e percentis 5 e 95 para cada ponto espacial (latitude e longitude) e temporal (cada três horas). A base de dados encontra-se gravada no formato NETCDF e as variáveis que nela constam são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2- Variáveis armazenadas na base de dados

Abreviatura	Nome	Unidade
sst	Temperatura da superfície do mar	K
tcw	Coluna total de água	kg m <sup>-2</sup>
tcwv	Coluna total de vapor de água	kg m <sup>-2</sup>
r	Precipitação	m s <sup>-1</sup>
msl	Pressão média ao nível do mar	Pa
tcc	Cobertura total de nuvens	(0 - 1)
wmag	Magnitude do vento	m s <sup>-1</sup>
wdir	Direção do vento	
t2m	Temperatura a 2 metros	K
d2m	Temperatura do ponto de orvalho a 2 metros	K
ssrd	Radiação solar descendente à superfície	W m <sup>-2</sup>
strd	Radiação térmica descendente à superfície	W m <sup>-2</sup>
lcc	Cobertura de nuvens baixa altitude	(0 - 1)
mcc	Cobertura de nuvens media altitude	(0 - 1)
hcc	Cobertura de nuvens alta altitude	(0 - 1)
tco3	Coluna total de ozono	kg m <sup>-2</sup>
ssrc	Radiação solar líquida à superfície, céu limpo	W m <sup>-2</sup>
strc	Radiação térmica líquida à superfície, céu	W m <sup>-2</sup>
skt	Temperatura da superfície	K

### 3 Plataforma de simulação da radiação solar

A plataforma de simulação consiste numa biblioteca de aproximações apresentadas em [2]. Esta plataforma utiliza variáveis meteorológicas fornecidas pelo utilizador ou pelo *Environment Simulator*, para estimar a radiação solar, direta, difusa e global por comprimento de onda. Assim, a plataforma fornece uma estimativa da radiação solar direta, difusa e global para todo o espectro solar. Alguns dos parâmetros necessários à representação das propriedades óticas da atmosfera possuem um valor por omissão, este que pode ser alterado pelo utilizador. As variáveis necessárias à simulação da radiação solar são apresentadas na tabela 3, onde se indicam também os valores que assumem, sendo que alguns são retirados da base de dados. No caso da coluna total de vapor de água, esta pode ser estimada, dentro da plataforma, através da humidade relativa.

Para verificação da plataforma de simulação utilizam-se os dados recolhidos durante a campanha ALEX2014 (ALqueva hydro-meteorological EXperiment) [3].

Tabela 3 - Parâmetros em previsão e os valores assumidos

Parâmetro	Símbolo	Origem/valor
Temperatura	t	Base de dados
Massa da coluna de ozono	c_O3	Base de dados
Pressão atmosférica	p	Base de dados
Coluna total de vapor de água	tcwv	Base de dados
Albedo	rg	0,2
Concentração de partículas na atmosfera	d	Cenário_Id 9 = 50; Cenário_Id 10 = 500; Restantes cenários = 200
Altura da camada de ozono	z3	20
Albedo de dispersão primária	w0	0,9

### 3.1. Caso Mourão

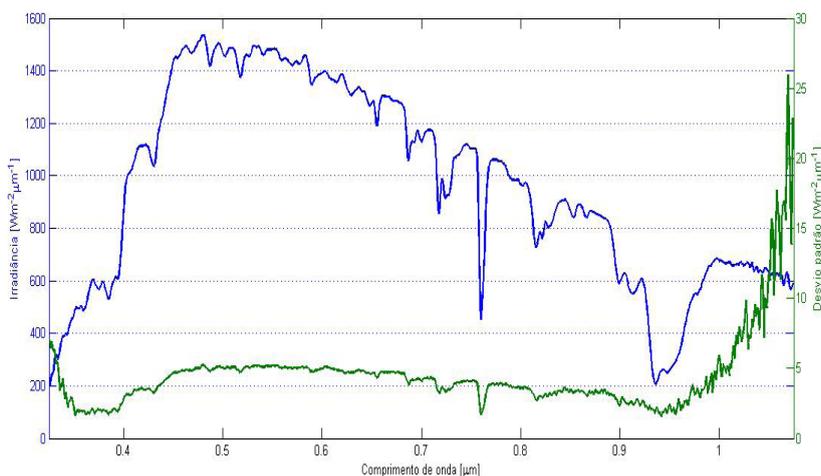


Gráfico 1 - Irradiância espectral média e respetivo desvio padrão. Medições efetuadas sobre água em Alqueva

Neste ponto foi utilizada a plataforma para simular a radiação espectral à superfície num local da albufeira de Alqueva, próximo a Mourão, cujas coordenadas são  $38,393633^{\circ}\text{N}$  e  $7,387551^{\circ}\text{W}$ , onde se encontra uma jangada fixa pertencente à Agência Portuguesa do Ambiente (ex-INAG), utilizada durante a ALEX2014 e que inclui uma estação meteorológica. A irradiância espectral foi medida com recurso a um espectrorradiómetro portátil que regista a irradiância no intervalo . Efetuaram-se 24 medidas no período de dois minutos no dia 27 de agosto de 2014 às 14:16 UTC. Os dados recolhidos permitem calcular uma irradiância média para o período e o desvio padrão das medidas, apresentados no gráfico 1.

Para utilização da plataforma de simulação, recolhem-se os dados de temperatura, humidade relativa e pressão medidos no mesmo local. Utilizam-se a massa da coluna de ozono proveniente do satélite OMI [4] e estimam-se os restantes parâmetros. Para uma melhor comparação com os dados do espectrorradiómetro, simulou-se a irradiância no mesmo intervalo de comprimento de onda - e com um passo de .

Tendo esta medição sido efetuada sobre a água da albufeira e sabendo que o ângulo zenital para a hora indica é 37°, aproximadamente, escolheu-se o valor para o albedo de 0,095. Em resumo apresentam-se as propriedades fornecidas à plataforma na tabela 4:

Tabela 4 - Propriedades fornecidas à plataforma de simulação

Propriedade	Valor
Data	27/8/2014 14:16:00
Latitude	38,393633
Longitude	-7,387551
Temperatura	30,85 C (304 K)
Pressão atmosférica	100,5 kPa
Humidade relativa	32,8 %
Massa da coluna de ozono	6,5247 g/m <sup>2</sup>
Altura da camada de ozono	20 km
Albedo de dispersão primária	1,0
Número de partículas	20 #/cm <sup>3</sup>
Albedo do solo	0,095

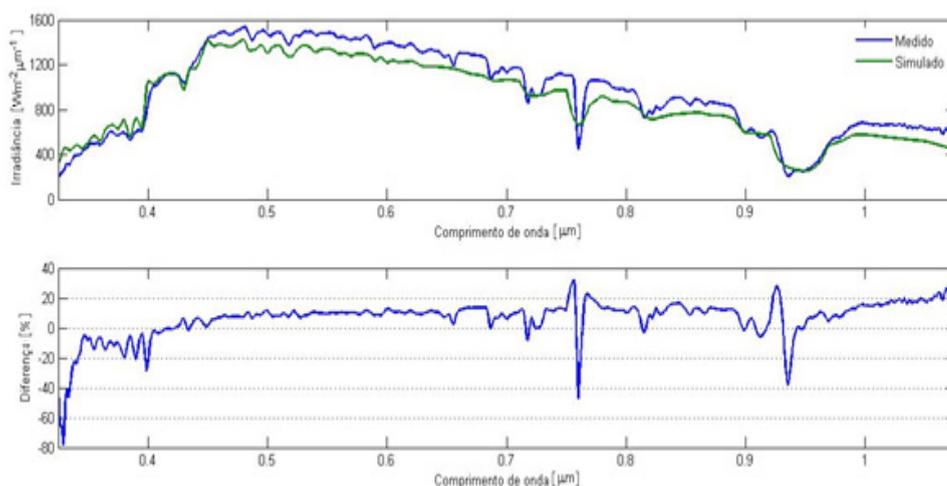


Gráfico 2 - Comparação da irradiância espectral medida e simulada em Alqueva

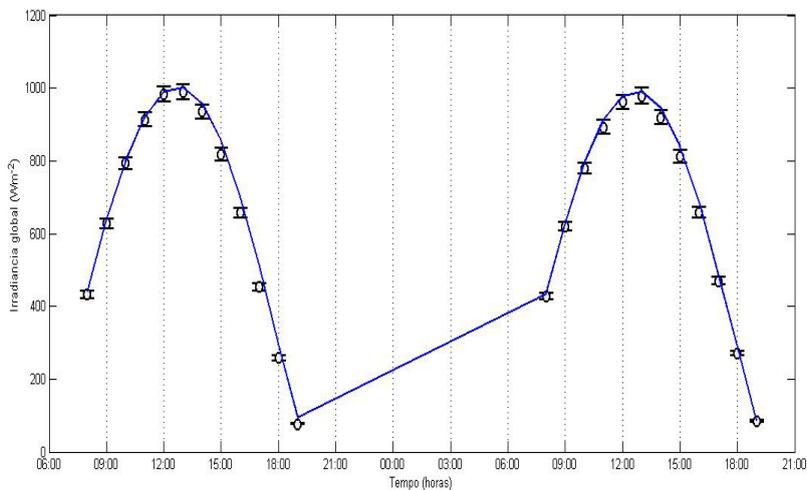


Gráfico 3 - Comparação dados de irradiância global medida e simulada para os dias 22 e 23 de julho de 2014.

No gráfico 3 pode verificar-se a comparação dos dados simulados (a azul) com os dados medidos (a cinzento). O coeficiente de correlação entre a irradiância global medida e a irradiância global simulada é de 0,998 e o erro quadrático médio de 11,9 .

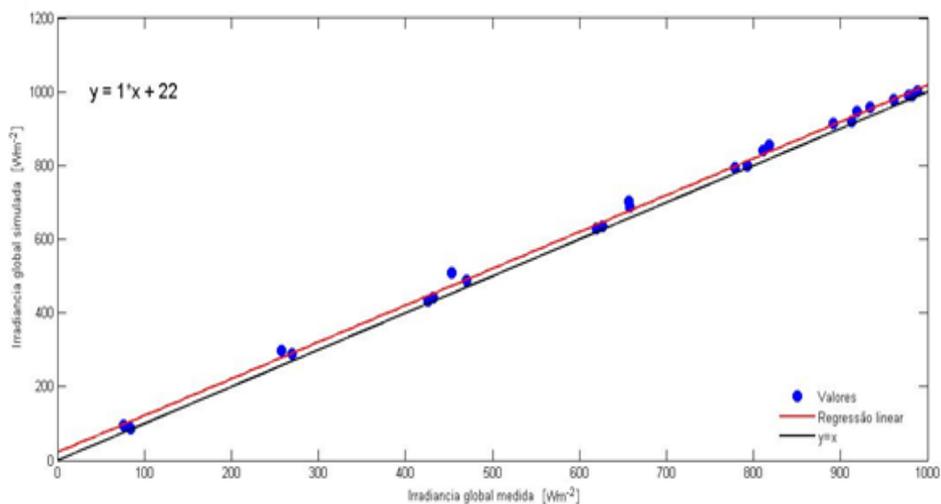


Gráfico 4 - Relação entre a irradiância global medida e simulada para os dias 22 e 23 de julho de 2014. Parque

No gráfico 4 pode verificar-se que a regressão linear dos dados quando traçado o gráfico irradiância medida vs irradiância simulada é paralela a reta  $y=x$ .

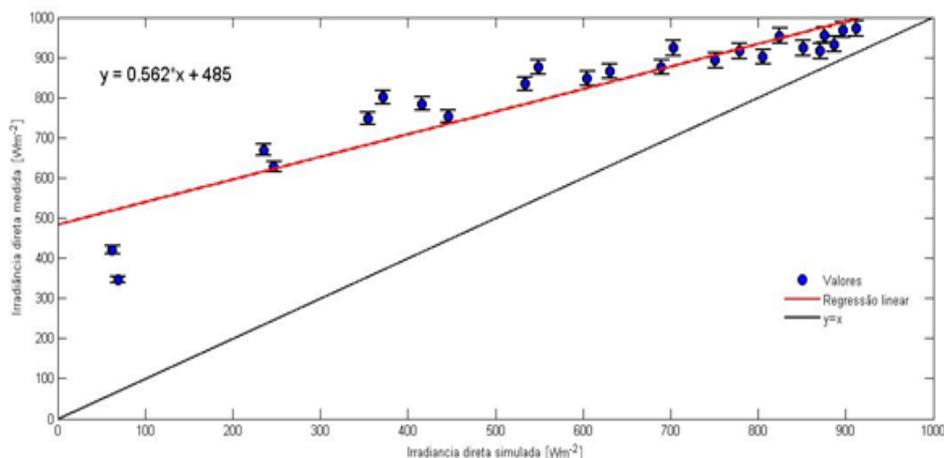


Gráfico 5 - Relação entre a irradiância direta medida e simulada para os dias 22 e 23 de julho de 2014. Parque solar da EDIA em Alqueva

Efetuada o mesmo estudo, agora para a radiação direta, obtêm-se um coeficiente de correlação de 0,85 e o erro quadrático médio de 63,0 . A irradiância direta foi medida com recurso ao pireliómetro CHP1 com um intervalo espectral de 0,2 a 4 . A radiação direta medida é sempre superior à simulada, como se pode ver no gráfico 5, o que pode ser explicado pelo facto de que o equipamento que efetua a medição apresentar um ângulo de visão superior ao disco solar, o que engloba a auréola solar, componente que não é incluída na simulação da componente direta.

### 1.1. *Caso base de dados*

Para testar a utilização da base de dados, isto é, sem fornecer dados à plataforma, comparou-se a irradiância global nos meses de junho e julho, valores simulados de hora a hora entre as 8 e as 19 horas com os valores registados no sítio ALEX2014 do parque solar. Utilizou-se o perfil médio (id 0) e a localização do parque solar para comparação com os dados recolhidos. Esta simulação, incluindo os dias de nuvens, apresenta um coeficiente de correlação de 0,63 e um erro quadrático médio de 173. No gráfico 6 pode verificar-se a dispersão causada pelas nuvens, diminuindo a radiação global medida.

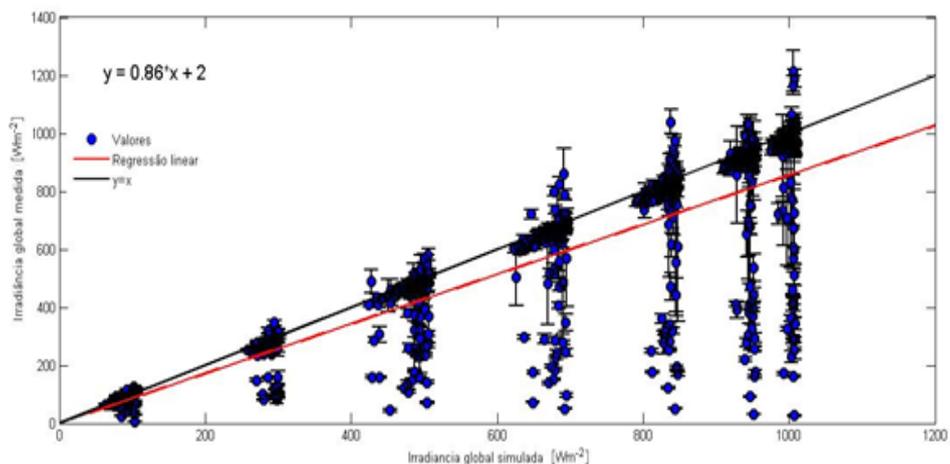


Gráfico 6 - Comparação das irradiâncias globais: a simulada com a base de dados e a medida. Parque solar da EDIA em Alqueva

#### 4 Conclusão

Neste trabalho demonstra-se que apesar das simplificações introduzidas para a realização dos cálculos na plataforma de simulação de radiação solar, as simulações apresentam uma boa aproximação dos valores reais. A plataforma de simulação permite simular acontecimentos passados de forma mais correta com recurso a dados medidos. Caso o utilizador pretenda estimar a radiação para um dia futuro a utilização da base de dados como fonte de informação permite obter uma boa estimativa para a radiação solar à superfície para dias de céu limpo. Pretende-se, no futuro, continuar a dotar a plataforma de ferramentas e estimativas mais atuais e validar a sua utilização para outros pontos. A plataforma será utilizada para efetuar estudos e simulações sobre o desenvolvimento de um sensor de radiação solar.

#### Acknowledgments

Este trabalho teve o suporte do projeto SAFEPORT – an Approach to Port Surveillance and Protection financiado pela NATO - e do projeto ALEX - Alqueva hydro-meteorological EXperiment, financiado pela FCT (EXPL/GEO-MET/1422/2013).

**Referências**

- [1] S. M. Uppala et al., “The ERA-40 re-analysis,” *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 131, pp. 2961-3012, outubro 2005. [Online]. <http://dx.doi.org/10.1256/qj.04.176>
- [2] André Albino, “Radiação solar: estudo e criação de plataforma de apoio à conceção de um sensor de radiação solar,” Universidade de Évora, Évora, Tese de Mestrado 2014.
- [3] Rui Salgado. (2014) ALEX 2014. [Online]. [www.alex2014.cge.uevora.pt](http://www.alex2014.cge.uevora.pt)
- [4] National Aeronautics and Space Administration. Space-Based Measurements of Ozone and Air Quality in the Ultraviolet and Visible. [Online]. <http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/OMIOzone.md>
- [5] Vaisala. (2014) Weather Transmitter WXT520 Access to Real Time Weather Data. [Online]. <http://www.vaisala.com/en/products/multiweathersensors/Pages/WXT520.aspx>
- [6] TSI Incorporated. (2014) Precision Measuring Tools, Precision Measurement Instruments. [Online]. <http://www.tsi.com/Optical-Particle-Sizer-3330/>
- [7] The MathWorks, Inc. (2014) MATLAB The Language of Technical Computing. [Online]. <http://www.mathworks.com/products/matlab/?refresh=true>