

## **DISPONIBILIDADE DE IRRADIÂNCIA SOLAR PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA ALEMANHA E NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL<sup>1</sup>**

### *SOLAR IRRADIANCE AVAILABILITY FOR PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION IN GERMANY AND RIO GRANDE DO SUL STATE*

**Jivago Schumacher de Oliveira<sup>2</sup>, Galileo Adeli Buriol<sup>3</sup>,  
Alexandre Swarowsky<sup>4</sup> e Valduino Estefanel<sup>4</sup>**

#### **RESUMO**

No estado do Rio Grande do Sul - RS, a utilização da geração de energia elétrica a partir da utilização de células fotovoltaicas ainda é incipiente. Em comparação ao potencial de irradiância solar na Alemanha, um dos países que mais investem na geração de energia elétrica a partir da radiação solar, pode-se comprovar que no RS a disponibilidade é mais elevada. Entretanto, é importante que esta diferença seja quantificada. Assim, o objetivo, neste trabalho, foi comparar a disponibilidade de irradiância solar global na Alemanha com aquela disponível no estado do RS. Para isto, foi utilizada a irradiância solar global mensal incidente no topo da atmosfera nas latitudes de 50°N e 30°S, mensal e anual registrada na superfície do solo em doze locais e a variação espacial anual na Alemanha e no estado do RS. Constatou-se que a irradiância solar global anual no estado do Rio Grande do Sul é, aproximadamente, 30% maior do que na Alemanha e que as diferenças são mais acentuadas no inverno do que no verão de cada Hemisfério, em função, principalmente da duração do dia e do ângulo zenital de cada local ou região. Assim, a utilização desta fonte de energia para gerar eletricidade no estado do Rio Grande do Sul, é promissora.

**Palavras-chave:** energia solar, célula fotovoltaica, potencial energético.

#### **ABSTRACT**

*In the state of Rio Grande do Sul - RS, the use of electric power generation from the use of photovoltaics is still incipient. Compared with the potential of solar irradiance in Germany, one of the countries that invest most in the generation of electricity from solar radiation, one can prove that the RS availability is higher. However, it is important to quantify this difference. The objective of this study is to compare the availability of global solar irradiance in Germany with that in the RS. For this, we used the monthly global solar irradiance incident at the top of the atmosphere at latitudes 50°N and 30°S. These numbers are monthly and annually recorded on the ground surface in twelve locations plus the annual spatial variation in Germany and the state of RS. The annual global solar irradiance in the state of Rio Grande do Sul is approximately 30% higher than in Germany and that the differences are greater in winter rather than in summer of each hemisphere, mainly due to the day length and zenith angle of each site or region. Therefore, the utilization of this type of energy in the Rio Grande do Sul State is promising.*

**Keywords:** solar power, photovoltaic cell, energetic potential.

<sup>1</sup> Trabalho de Iniciação Científica - CNPq.

<sup>2</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro Universitário Franciscano. E-mail: jivago.s.o@hotmail.com

<sup>3</sup> Orientador - Centro Universitário Franciscano. E-mail: galileo@unifra.br

<sup>4</sup> Colaboradores - Centro Universitário Franciscano. E-mail: alexandre@unifra.br; valduino@unifra.br

## INTRODUÇÃO

A Alemanha e a China são os países que mais investem na utilização da energia solar. Na Alemanha, o aumento de placas fotovoltaicas instaladas em seu território, pelos campos e coberturas de residências tem aumentado consideravelmente. De 2011 para 2012 ocorreu um aumento de 45% na produção de energia elétrica com a utilização de placas fotovoltaicas. No ano de 2012, cerca de 1,3 milhões de sistemas fotovoltaicos produziram 28 milhões de quilowatt-hora (kWh), fornecendo energia elétrica para oito milhões de residências. O fornecimento energético com o uso de placas fotovoltaicas quadruplicou nos últimos três anos e, neste período, o preço de novas células caiu pela metade. Assim, a Alemanha está colhendo os frutos dos esforços para o desenvolvimento da tecnologia de energia solar (TERRA BRASIL, 1912).

A disponibilidade de radiação solar no Brasil é cerca de 40% maior do que na Alemanha. É comparável às melhores regiões do mundo. Além disso, as variações sazonais em algumas regiões, como no Nordeste, são pequenas, o que resulta em importantes vantagens técnicas e econômicas dos sistemas solares instalados. A radiação solar no país varia de 8 a 22 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> e ocorre um período de mínimo no trimestre maio-junho-julho, quando os valores de intensidade variam de 8 a 18 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. Neste período do ano, a máxima intensidade, 18 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, ocorre numa vasta região compreendida entre o leste do estado do Pará, o oeste dos estados do Ceará e da Bahia e a fronteira sul do estado da Bahia. Os valores mínimos, 8MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, ocorrem ao sul do estado do Rio Grande do Sul. Os valores médios mensais ocorrem no trimestre outubro-novembro-dezembro, os valores médios mensais são acima de 16 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, atingindo um valor máximo de 24 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. Neste período, ocorre um centro de máxima de 24 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> em uma região do centro-oeste do Rio Grande do Sul e valores de 22 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> em uma região relativamente vasta do Nordeste do Brasil. No mesmo período a tendência de mínima de 16 MJ.m<sup>-2</sup>. dia<sup>-1</sup> ocorre na região Amazônica (TIBA et al., 2000).

No estado do Rio Grande do Sul, pela sua posição geográfica, a disponibilidade de radiação solar global anual é a menor do Brasil (COLLE; PEREIRA,1998). Mesmo assim, é maior do que na Alemanha. Isto pode ser constatado pelas latitudes desses dois territórios. Tomando-se, como exemplo, as cidades de Rügen e Zugspitzen, latitudes de 54°25' N e 47°25' N e de Santa Vitória do Palmar e Iraí, latitudes de 27°11'S e 33°31'S, respectivamente, extremos norte e sul da Alemanha e do RS, a inclinação dos raios solares incidentes em relação ao plano do equador é maior na Alemanha, assim, no topo da atmosfera sobre este país, a densidade de fluxo de irradiância solar global é menor do que no RS (IQBAL, 1983).

No estado do Rio Grande do Sul, ainda não há mercado para a implementação de células fotovoltaicas, pois os consumidores esbarram no custo de implantação (OS DESAFIOS DA ENERGIA SOLAR NO RS, 2012). A formação de grupos de pesquisa na área é recente. Os principais grupos de pesquisa encontram-se nas universidades, principalmente na Pontifícia Universidade Católica do

Rio Grande do Sul - PUCRS (PUCRS, 2013) e na Universidade Federal do Estado do Rio Grande do Sul - UFRGS (UFRGS, 2013). No entanto, atualmente, é possível que o passo mais importante para a implementação prática da geração de eletricidade a partir da energia solar tenha sido dado pela Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE. O Grupo CEEE (2012), com a parceria de universidades, instituições estaduais, empresas particulares e a Prefeitura de Porto Alegre firmou convênio para o desenvolvimento do projeto de pesquisa denominado “Inserção da Geração Solar Fotovoltaica Urbana Conectada à Rede em Porto Alegre”. O contrato prevê a construção de uma usina fotovoltaica de 550 kWp no Centro de Porto Alegre, ao longo da linha do Aeromóvel, ocupando parte dos telhados da Usina do Gasômetro e da Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC. Será, ainda, instalada, na CIENTEC, uma central experimental de geração solar fotovoltaica de 50 kWp (parte da usina) e uma estação solarimétrica com sistema de aquisição, monitoração e análise de dados capaz de armazenar informações indispensáveis à avaliação do desempenho técnico-econômico do empreendimento. Com estas e outras iniciativas, vislumbra-se a possibilidade de que cresça a utilização da radiação solar no estado.

Na Alemanha, a disponibilidade de radiação solar é inferior àquela encontrada em muitas regiões do mundo. Mesmo assim, é um dos países que mais investe na geração de energia elétrica a partir da radiação solar. O estado do RS, em função de sua localização latitudinal em relação à da Alemanha, é um exemplo de região com maior disponibilidade de radiação solar do que nesse país. Para verificar essa diferença, é importante comparar as disponibilidades deste elemento climático no RS com aquelas ocorrentes no país europeu. Assim, o objetivo, neste trabalho, foi comparar as disponibilidades médias de irradiância solar global disponíveis ao longo dos doze meses do ano, na Alemanha e no estado do Rio Grande do Sul.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A comparação da disponibilidade de energia solar no estado do Rio Grande do Sul com aquela ocorrente na Alemanha foi realizada com a utilização dos valores médios de irradiância solar global mensal incidente no topo da atmosfera, mensal e anual registrados na superfície do solo em doze locais e a variação espacial dos valores anuais de ambos os territórios. Foi utilizado, ainda, o número máximo de horas de brilho solar mensal para cada uma dessas latitudes.

Na representação da irradiância solar global média mensal incidente no topo da atmosfera e o número máximo de horas de brilho solar mensal, foram utilizados os dados do 15º dia de cada mês nas latitudes de 50ºN e de 30ºS, localizadas, respectivamente, em torno do centro geográfico do território do RS e da Alemanha (IQBAL, 1983).

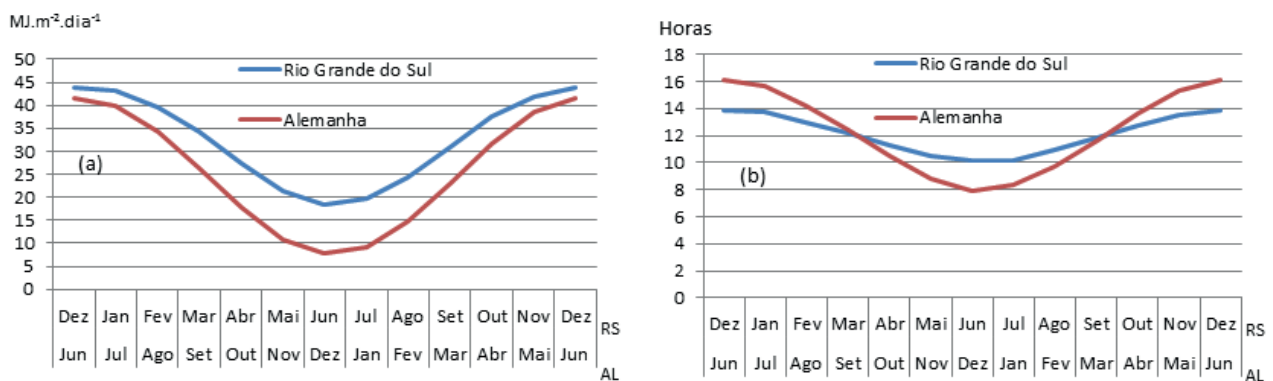
Para comparar a irradiância solar global medida na superfície do solo, foram utilizados os valores médios mensais e anuais de irradiância solar global registrados em doze estações

meteorológicas localizadas no RS, período de registro de 1976 a 2005 (WREGE, 2013) e doze locais da Alemanha, período de 2001 a 2012 (SOLARGIS, 2011). Selecionaram-se, tanto na Alemanha como no estado do RS, locais distribuídos de forma a serem representativos dos diferentes fatores geográficos condicionantes da variação da irradiância solar global (latitude, altitude, continentalidade e maritimidade).

Na representação da variação geográfica da irradiância solar global foram utilizados os mapas da irradiância solar global anual dos dois territórios. No caso da Alemanha, utilizou-se o mapa com a sua variação espacial publicado em União Europeia (2012) e para o RS, elaborou-se um mapa por meio do *software* ArcGIS 10.0, utilizando-se os valores médios anuais de 16 locais, período de 1976 a 2005, contidos em Wrege (2013). A comparação foi realizada pela diferença da intensidade da irradiância solar global média anual no espaço geográfico de ambos os territórios.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A irradiância solar global anual no topo da atmosfera (Figura 1a) na latitude de 30°S (RS) é 22,83% mais elevada do que na latitude de 50°N (Alemanha). A maior amplitude da irradiância solar entre os dois territórios é observada no período invernal de cada Hemisfério do que no estival. Estas diferenças ocorrem devido à duração astronômica do dia: por exemplo, no período entre os equinócios de outono e primavera para os respectivos Hemisférios (abril a setembro no Hemisfério Sul e outubro a março no Hemisfério Norte), é maior no RS e entre os equinócios de primavera e outono (outubro a março no Hemisfério Sul e abril a setembro no Hemisfério Norte), é maior na Alemanha (Figura 1b). Em função disso, na latitude de 30°S, no período de abril a setembro ocorrem, aproximadamente, 15,6% e de outubro a março, 33,7% do total anual da irradiância solar global incidente no topo da atmosfera. Já na latitude de 50°N, 9,4% no período de outubro a março e 40,6% de abril a setembro.



**Figura 1** - Irradiância solar global no topo da atmosfera ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) (a) e duração astronômica do dia no décimo quinto dia de cada mês (b) para as latitudes de 30°S e 50°N. Fonte: Iqbal (1983).

Na tabela 1, observa-se que os valores médios anuais e mensais de irradiância solar global nos 12 locais do estado do RS, em todos os meses do ano e em todos os locais, são mais elevados do que na Alemanha e que, as diferenças são maiores no período entre o equinócio de outono e o equinócio de primavera. Por exemplo, a média dos 12 locais para cada um dos três meses de menor incidência de irradiância solar em cada hemisfério (novembro, dezembro e janeiro na Alemanha e maio, junho e julho no RS) os valores são, respectivamente, 3,8, 3,8 e 4,3 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> para a Alemanha e 11,6, 9,6 e 18,5 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> para o RS e para os três meses de maior incidência de irradiância solar (maio, junho e julho na Alemanha e novembro, dezembro e janeiro no RS), 19,0, 19,6 e 18,5 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> para a Alemanha e 22,5, 23,3 e 22,3 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> para o RS. Isto está de acordo com os resultados da figura 1a. Constata-se assim, que mesmo com as possíveis interferências da composição atmosférica na transmitância da irradiância solar, principalmente a nebulosidade, as diferenças entre os dois territórios persistem.

A distribuição geográfica da irradiância solar global na Alemanha, figura 2, é condicionada principalmente pela latitude e, em segundo lugar, pela continentalidade. Os menores valores médios anuais ocorrem na parte norte e vão aumentando ao sul do país. Quanto à continentalidade, observa-se que, desde o extremo norte até o extremo sul do país, os valores médios anuais são, geralmente, maiores no leste do país. Isto se deve principalmente à nebulosidade. Os valores oscilam, segundo as diferentes regiões geográficas do país de 9,5 a 13,5 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. No estado do RS, o fator que mais interfere na distribuição espacial da irradiância solar global é a continentalidade. Os menores valores médios ocorrem na parte leste do estado e vão aumentando para o oeste, atingindo os valores mais elevados nas Regiões do Baixo Vale do Uruguai, Campanha e Missões. Os valores médios anuais variam de 15,9 a 17,4 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. A distribuição é condicionada, principalmente pela variação geográfica da nebulosidade, conforme verificado nos resultados obtidos por Custódio et al. (2009) por meio da distribuição espacial dos valores da razão de insolação no estado do RS. Constata-se, a partir desses dados, que a irradiância solar global anual no estado do Rio Grande do Sul é, aproximadamente, 30% maior do que na Alemanha.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos resultados obtidos constata-se que, em comparação com a irradiância solar global disponível na Alemanha, país que, atualmente, mais usa energia elétrica gerada a partir da irradiância solar, o potencial no estado do Rio Grande do Sul é maior. A média é superior em todos os meses do ano. Assim, o futuro, quanto à utilização desta fonte de energia para gerar eletricidade no estado, é muito promissor, principalmente nas Regiões do Baixo Vale do Uruguai, Campanha e Missões, em que o potencial é maior.

**Tabela 1** - Latitudes e valores médios mensais e anuais de irradiância solar global ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) de 12 estações meteorológicas do estado do Rio Grande do Sul, período de observação de 2001 a 2012, pertencentes ao 8º Distrito de Meteorologia (8ºDISME) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e 12 locais e também 12 locais da Alemanha.

Locais	Latitude S	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
<b>Rio Grande do Sul</b>														
Erechim	27°37'45"	21,6	20,8	17,7	14,4	12,3	10,6	11,1	13,4	15,7	19,5	22,3	22,6	16,8
Santa Rosa	27°51'50"	21,7	20,8	17,6	14,1	11,7	9,6	10,2	12,0	14,8	19,2	22,0	23,0	16,4
Cruz Alta	28°38'21"	22,0	21,3	18,3	14,3	11,9	10,3	10,8	12,9	15,5	19,9	22,7	23,2	16,9
São Borja	28°39'44"	23,7	22,5	18,7	14,5	12,3	10,4	11,0	13,0	15,9	20,8	24,2	24,8	17,6
Itaqui	29°07'10"	23,5	22,5	17,9	13,7	12,7	9,8	11,2	12,7	15,7	19,7	24,2	24,3	17,3
Caxias do Sul	29°10'25"	20,8	20,0	17,1	13,3	11,3	9,6	10,3	12,5	14,3	18,6	21,9	21,9	16,0
Farroupilha	29°14'30"	21,0	19,8	16,7	13,7	11,2	9,5	10,1	11,8	14,6	18,5	21,5	21,5	15,8
Santa Maria	29°41'25"	21,7	20,6	17,4	13,7	11,3	9,2	9,8	11,7	14,5	19,0	21,9	23,0	16,1
Uruguaiana	29°45'23"	22,9	21,9	18,1	14,3	11,8	9,6	10,4	12,4	15,8	20,4	23,8	24	17,1
São Gabriel	30°20'27"	22,8	21,3	18,0	13,9	11,3	9,2	10,0	12,0	15,3	19,9	23,3	24,1	16,8
Quarai	30°23'17"	23,4	22,0	18,2	14,3	11,4	9,3	10,1	12,4	15,9	20,5	24,1	24,1	17,1
Rio Grande	32°01'44"	22,4	21,0	16,7	13,2	10,4	8,6	8,7	11,2	14,1	18,7	22,3	23,4	15,9
<b>Alemanha</b>														
Kempton	47°44'41"	6,2	9,0	13,8	18,4	18,4	19,0	19,0	17,6	15,0	11,1	7,2	5,3	13,4
Stuttgart	48°46'33"	5,4	8,8	10,8	18,3	18,4	19,8	19,1	17,7	14,9	10,3	6,5	4,6	13,1
Nürnberg	49°27'13"	4,6	8,1	12,3	18,2	18,6	19,7	18,4	17,2	14,3	9,6	5,3	4,1	12,6
Frankfurt	50°7'7"	4,5	7,9	12,6	18,6	18,8	20,4	18,9	17,7	14,3	9,6	4,7	3,7	12,7
Eisenach	50°59'16"	3,9	6,9	11,8	17,2	18,1	19,4	17,8	16,7	13,2	8,7	4,2	3,5	11,8
Dresden	51°3'37"	4,4	7,2	12,1	17,4	18,7	19,0	18,0	17,1	13,5	9,2	5,4	4,5	12,2
Düsseldorf	51°13'39"	4,4	7,0	12,1	18,2	18,8	19,7	18,2	16,8	14,0	9,6	5,3	4,0	12,3
Hannover	52°23'44"	3,6	6,7	11,6	17,7	18,9	19,4	18,0	16,5	13,5	9,0	4,3	3,7	11,9
Berlin	52°31'46"	3,9	6,9	11,9	18,2	19,3	20,1	18,3	17,1	14,0	8,8	4,8	3,2	12,2
Hamburg	53°33'59"	3,3	6,4	12,0	18,3	19,5	19,3	18,6	16,7	13,5	8,9	4,1	3,0	12,0
Rostock	54°2'47"	3,5	6,3	12,7	18,9	20,2	20,2	18,9	16,7	13,6	8,9	4,2	2,9	12,3
Flensburg	54°47'28"	3,2	5,5	11,8	18,5	19,9	19,8	18,5	16,5	13,0	8,7	4,3	2,9	11,9

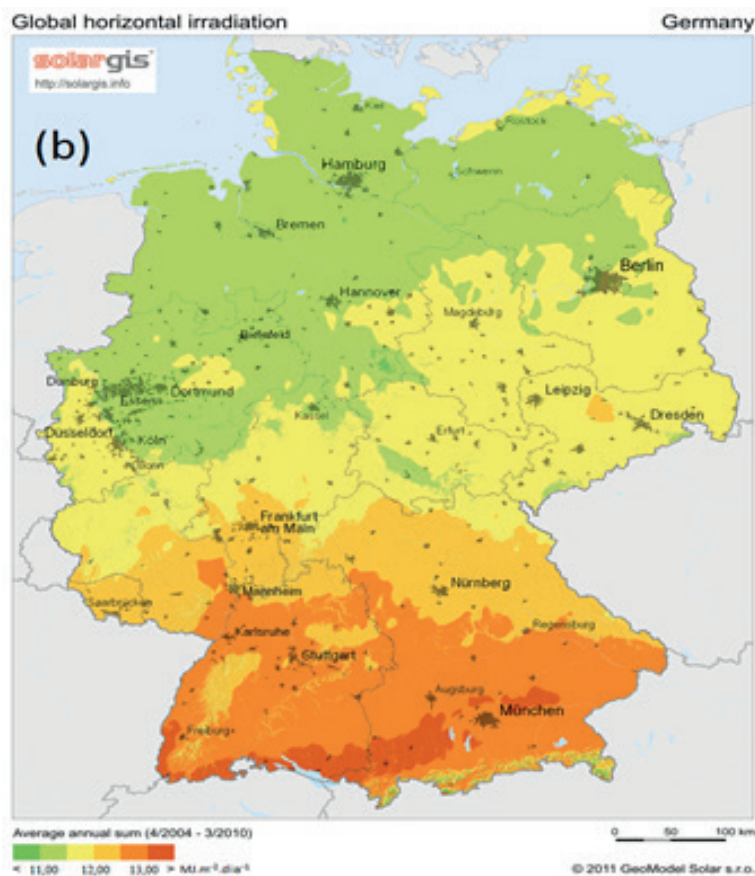
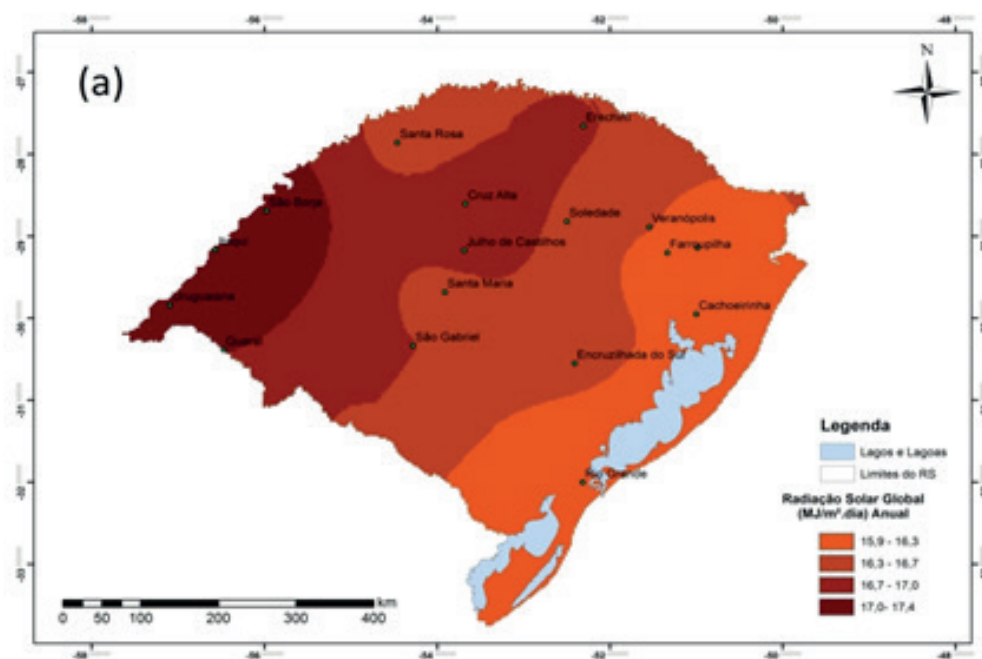


Figura 2 - Carta da distribuição espacial da irradiância solar global média anual do estado do Rio Grande do Sul, gerada a partir dos dados de 16 estações meteorológicas (WREGE, 2013) e da Alemanha, obtida de União Europeia (2012).

## REFERÊNCIAS

COLLE, S.; PEREIRA, E. B. **Atlas de irradiação solar do Brasil**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET/Laboratório de Energia Solar - EMC/UFSC,1998. 66 p.

CUSTÓDIO, M. de Z.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul, Brasil: climatologia e tendência temporal. **Pesq. Agrop. Gaúcha**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 45-52, 2009.

IQBAL, M. **An Introduction To Solar Radiation**. Londres: Academic Press, Inc., 1983.

O GRUPO CEEE. **CEEE firma convênio de projeto de pesquisa sobre energia solar**. 2012. Disponível em: <<http://www.seinfra.rs.gov.br/conteudo/66113/?>>. Acesso em: 04 jun. 2013.

OS DESAFIOS DA ENERGIA SOLAR NO RS. **O estado tem radiação solar e tecnologia, mas faltam incentivos para chegar ao consumidor**. Disponível em: <<http://bit.ly/1zDbKbv>>. Acesso em: 04 jun. 2013.

PUCRGS. NT-SOLAR - **Núcleo de Tecnologia em Energia Solar**. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/cbsolar/apresent.php>>. Acesso em: 04 jun. 2013.

TERRA BRASIL. **Produção de energia solar na Alemanha bate recorde em 2012**. 2012. Disponível em: <<http://bit.ly/1vUO5pS>>. Acesso em: 04 jun. 2013.

TIBA, C. et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil**: banco de dados solarimétricos. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p.

UFRGS. **Laboratório de Energia Solar**. 2013. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/>>. Acesso em: 04 jun. 2013.

UNIÃO EUROPEIA. **Sistema de Informação Geográfica fotovoltaica - Mapas Interativos**. 2012. Disponível em: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

SOLARGIS. **Irradiação horizontal Global (GHI)**. 2011. Disponível em: <<http://bit.ly/1v0Vx0N>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

WREGGE, M. S. et al. Radiação solar global. In: MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I. R. de (Editores). **Atlas Climático do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio do RS/FEPAGRO/SEMETRS, 2013, p. 149-165. Disponível em: <<http://bit.ly/1pvf7Bv>>. Acesso em: 27 jul. 2013.