

OBTENÇÃO DE DADOS RADIOMÉTRICOS PARA APROVEITAMENTOS ENERGÉTICOS: UM DESAFIO NACIONAL E MUNDIAL

Stefania Gomes Relva – stefania.relva@gmail.com

André Luiz Veiga Gimenes – gimenes@pea.usp.br

Vinicius Oliveira da Silva – vinicius.oliveira.silva@usp.br

Luiz Claudio Ribeiro Galvão – lcgavao@pea.usp.br

Miguel Edgar Morales Udaeta – udaeta@pea.usp.br

Universidade de São Paulo, Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica

Resumo. A necessidade de dados sobre a radiação solar com alto nível de confiabilidade é indiscutível e se apresenta cada vez mais necessária em função da utilização desses em diversas áreas de conhecimento como a agricultura, estudo de mudanças climáticas e aproveitamentos energéticos. Esse artigo tem como principal objetivo discutir a quantidade de medições radiométricas em solo disponíveis em âmbito nacional e mundial com foco no conhecimento do recurso solar para fins de geração de energia elétrica. Para tal, inicialmente é discutida a importância dos registros de radiação na superfície terrestre. Em seguida analisa-se a distribuição ideal da quantidade de estações de medições na superfície terrestre. Finalmente são definidos instituições e programas de registro e armazenamento das medições solarimétricas mais relevantes no Brasil e no mundo. Como resultado, o estudo apresenta uma estimativa da quantidade de estações instaladas no Brasil e no mundo além de discutir a validade dos dados disponíveis para a finalidade dos estudos de aproveitamentos energéticos.

Palavras-chave: Energia Solar, Medições de Radiação Solar.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, devido a grande preocupação mundial com as mudanças climáticas e com o desenvolvimento de fontes alternativas e renováveis de energia, o conhecimento e medições da radiação solar tornam-se cada vez mais importantes. Existe ao redor do mundo uma série de grupos de pesquisa, agências federais e segmentos da indústria engajados no desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de medição da irradiação solar. Contudo, a disponibilidade de dados é bastante limitada.

Tecnologias para medições solarimétricas têm sido desenvolvidas ao longo dos últimos séculos. Tradicionalmente, a coleta de dados se restringia à medição da insolação que corresponde à quantidade, em horas por dia, que a irradiância permanece igual ou superior a um determinado valor. A recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (WMO) é de que esse valor mínimo seja de 120 W/m². A medição da insolação é de grande importância para a agricultura. Hoje as medições solarimétricas são extremamente relevantes para o avanço dos estudos sobre a física atmosférica, aproveitamentos energéticos e a compreensão das mudanças climáticas

1.1 A importância da Medição da Radiação Solar na Superfície Terrestre

A caracterização da radiação incidente na superfície terrestre depende principalmente de variáveis geométricas e da interação entre a radiação e a composição atmosférica.

As variáveis geométricas são definidas em função do posicionamento do determinado espaço terrestre em relação ao Sol. Esse posicionamento é definido de maneira temporal (dia do ano e horário do dia) e espacial (latitude). Dentre essas variáveis, destaca-se, para o estudo da radiação, a altura solar (α), ou declinação solar. Esse ângulo, definido entre a horizontal da superfície e a posição do Sol, varia conforme a época do ano e o horário do dia e tem uma relação direta com a distância do percurso da radiação pela atmosfera. Quanto maior esse percurso, maior a interação entre a atmosfera e a radiação solar, e quanto maior a interação, maior é a ocorrência de processos de difusão e refração da radiação. Nesse sentido, define-se a Massa de Ar (AM). O fator AM indica um múltiplo do percurso da radiação solar na atmosfera.

A definição da composição atmosférica indica o conhecimento da transmitância atmosférica que constitui na razão entre a irradiância solar na superfície terrestre e no topo da atmosfera. Os coeficientes de absorção e espalhamento da radiação dependem da composição do espectro da luz solar e da composição atmosférica de gases e aerossóis. Como esses fatores são de grande variabilidade, a determinação da transmitância atmosférica é variável e de difícil determinação. (Martins *et al.*, 2004).

A Tab. 1 mostra algumas relações entre a parcela de radiação afetada pela transmitância atmosférica em função dos coeficientes de dispersão e absorção e das massas de ar definidas em função da altura solar. Os intervalos dos

valores estimados possuem uma variação expressiva, isso mostra a dificuldade de definição da influência atmosférica na radiação incidente.

Tabela 1- Absorção e dispersão da radiação solar em função da massa de ar e da altura solar. A Dispersão de Rayleigh indica a dispersão molecular e a Difusão de Mie indica a dispersão da radiação por partículas de pó e poluição do ar (DGS, 2005).

α	AM	Absorção	Dispersão de Rayleigh	Difusão de Mie	Redução Total
90°	1,00	8,7%	9,4%	0- 25,6%	17,3-38,4%
60°	1,15	9,2%	10,5%	0,7-29,5%	19,4-42,8%
30°	2,00	11,2%	16,3%	4,1-44,9%	28,8-59,1%
10°	5,76	16,2%	31,9%	15,4-74,3%	51,8-85,4%
5°	11,5	19,5%	42,5%	24,6-86,5%	65,1-93,8%

A composição atmosférica depende das condições ambientais e climáticas variando temporal e espacialmente. A grande variabilidade das variáveis define a importância da medição em superfície terrestre com a instalação de equipamentos de medição na maior quantidade de locais possível, de modo a se obter o melhor detalhamento do comportamento desses fatores, analisando condições climáticas e geográficas diferentes.

1.2 Distribuição Espacial das Medições Radiométricas Disponíveis

Atualmente, embora se tenha alcançado melhoras significativas nos níveis de incertezas dos equipamentos radiométricos, verificam-se baixos índices de instalação, registro e manutenção desses equipamentos. Nesse sentido, a ciência e o mercado de energia solar evoluíram na elaboração métodos de aproximação e extrapolação de medições radiométricas obtidas em regiões próximas.

O relatório técnico da Irsolav (2014) indica duas principais metodologias para obtenção de dados a partir de medições feitas em campo: (i) utilização de dados de medição de estações próximas ao local- esse método se torna viável apenas para terrenos relativamente planos e quando a distância da estação de medição não supera 10 km, no caso de terrenos muito acidentados ou estações mais distantes o uso dos dados se torna totalmente inapropriado; (ii) interpolação de medições disponíveis próximas ao local- esse método pode ser utilizado apenas em áreas com uma grande quantidade de estações e desde que a distância entre as estações esteja em torno de 10 à 50 km.

Cros *et al.* (2003) citam uma série de estudos para indicar que médias diárias de radiação global podem ser consideradas válidas para uma área de 30 km da localização da estação de medição. Tiba *et al.* (2000), baseando-se no estudo de Gallegos *et al.* (1988) afirmam que em regiões fito geográficas homogêneas, a média mensal da radiação global diária média pode ser extrapolada até 200 km de distância com erros da ordem de 15%.

Paulescu *et al.* (2013) afirmam que muitos países têm desenvolvido redes de trabalho para medições radiométricas, contudo os investimentos e custos de manutenção dessas redes de medição são bastante significativos. Atualmente ainda são encontradas poucas estações instaladas ao redor do mundo, mesmo em países desenvolvidos. Além disso, os autores explicam que os tipos de medições e a qualidade dos dados obtidos variam de região para região. Normalmente dados de radiação global e de insolação são encontrados mais facilmente em valores de totais diários ou médias mensais. A radiação direta e difusa, bem como os índices de cobertura de nuvens no céu e registros horários de radiação são mais difíceis de serem encontrados e apenas poucas estações possuem medições de albedo e de radiação em planos inclinados.

Cros *et al.* (2003) indicam que o acesso à informação relevante é dificultado em função de uma série de razões, dentre elas, destacam-se: (i) o baixo número de estações instaladas, (ii) o acesso dificultado em função dos diferentes tipos de formatos de dados, padrões de armazenamento, períodos e intervalos de medições diferentes e (iii) as regiões providas de medições e os intervalos de medições muitas vezes não atendem às necessidades atuais dos interessados pela informação. Paulescu *et al.* (2013) e Cros *et al.* (2003) concordam que não se pode determinar a quantidade de equipamentos medidores de radiação instalados ao redor do mundo. Tampouco é possível quantificar os tipos de equipamentos e as respectivas variáveis medidas e muito menos se consegue garantir a qualidade da informação disponibilizada por todos os equipamentos.

2. MATERIAL E MÉTODO

Esse estudo tem como principal objetivo discutir a quantidade de medições radiométricas disponíveis na superfície do Planeta Terra. Para tal, inicialmente são definidos instituições e programas de registro e armazenamento das medições solarimétricas mais relevantes no Brasil e no mundo de modo a obter-se uma estimativa da quantidade de estações instaladas. Posteriormente é discutida a distribuição ideal da quantidade de estações de medições na superfície terrestre. Finalmente realizam-se os cálculos das distribuições verificadas e dos valores ideais. Com o intuito de se obter uma estimativa da quantidade de estações medidoras instaladas ao redor do mundo, foram formuladas as Tab. 2 e Tab. 3 que indicam alguns grupos, organizações e trabalhos relevantes para a solarimetria em âmbito mundial e nacional.

Tabela 2- Grupos, organizações e trabalhos relevantes para a solarimetria em âmbito mundial.

WORD RADIATION DATA CENTER (WRDC)			
Dados Disponibilizados	Radiação Global: somas diárias e mensais e médias mensais Radiação Difusa: somas diárias e mensais e médias mensais Insolação: somas e médias mensais		
Estações de Medição Vinculadas	Aproximadamente 1.440 ¹ .	Regiões de Captação	130 países distribuídos na América, Ásia, África, Europa e Oceania e estações na Antártida.
Descrição e Observações	O WRDC é o centro de coleta de dados da maior rede de medições radiométricas do mundo, desenvolvido e mantido pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM). A OMM é o principal grupo de estudos e manutenção de dados climatológicos do mundo, e embora o órgão seja de extrema relevância para os estudos radiométricos é importante enfatizar que o foco das medições mantidas pelo grupo é meteorológico e não energético.		
BASELINE SURFACE RADIATION NETWORK (BSRN)			
Dados Disponibilizados	Médias de 1 minuto de: radiação global (calculada pela soma da radiação difusa e direta), radiação global (medida por piranômetros), radiação difusa, radiação direta e radiação atmosférica ² .		
Estações de Medição Vinculadas	Aproximadamente 52 ³	Regiões de Captação	América, Ásia, África, Europa, Oceania e Antártida.
Descrição e Observações	O projeto é destinado a identificar importantes alterações no campo de radiação da Terra a partir da superfície de modo a relacioná-las às alterações climáticas. Diferente do WRDC e do GEBA que arquivam médias de radiação de longa data de mais de mil estações associadas com os serviços meteorológicos nacionais, o BSRN consiste apenas em um pequeno número de estações de pesquisa selecionadas, que proporcionam tipicamente médias de 1 minuto de fluxos de radiação da melhor qualidade possível atualmente disponível.		
GLOBAL ENERGY BALANCE ARCHIVE (GEBA)			
Dados Disponibilizados	Médias mensais de: radiação global, direta, difusa, terrestre ⁴ , atmosférica, albedo, radiação de onda curta refletida pela Terra, saldo de radiação de onda longa e saldo global de radiação, dentre outras variáveis específicas discriminadas em ETH (2014).		
Estações de Medição Vinculadas	Aproximadamente 1.500 ⁵	Regiões de Captação	América, Ásia, África, Europa, Oceania e Antártida.
Descrição e Observações	O GEBA é um banco de dados central dos fluxos de energia em todo o mundo instrumentalmente medidos na superfície terrestre, localizado no Instituto do Clima e Ciências Atmosféricas ETH de Zurique, Suíça. A maioria dos dados publicados no GEBA já foi informada por alguma outra publicação o valor agregado pelo GEBA a essas medições relaciona-se a: (i) uma certa padronização das medições, (ii) integração de dados radiação com dados históricos da estação centralizados em apenas um banco de dados, (iii) procedimentos de controle de qualidade aplicado às médias mensais dos fluxos de energia, (iv) e a redistribuição eletrônica dos dados.		

¹ Estimativa elaborada através das informações dispostas em WRDC (2014)² A radiação atmosférica, ou de onda longa descendente, representa a radiação de onda longa proveniente dos processos de refração e difração sofridos pela radiação na atmosfera.³ Estimativa elaborada através das informações dispostas em WMO (2005)⁴ A radiação terrestre representa a radiação de onda longa emitida pela Terra de volta à atmosfera.⁵ GILGEN & OHMURA (1999)

Tabela 3- Grupos, organizações e trabalhos relevantes para a solarimetria em âmbito nacional.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL: BANCO DE DADOS TERRESTRES			
Dados Obtidos	Radiação Global: períodos de medição variados Insolação: períodos de medição variados		
Estações de Medição Vinculadas	Aproximadamente 140 ⁶ piranômetros e actinígrafos	Regiões de Captação	Brasil
Descrição e Observações	O atlas, publicado em 2000, representa um dos principais esforços brasileiros em identificar os instrumentos e medições solarimétricas disponíveis no Brasil. O trabalho para a formulação do documento contou com um trabalho de pesquisa e análise das publicações dos últimos 40 anos que contém dados de radiação, além disso, o grupo de trabalho também elaborou um levantamento dos equipamentos radiométricos instalados ao longo do país. A publicação não oferece os dados obtidos pelos equipamentos utilizados.		
MODELO GL 1.2/INPE-CPTEC			
Dados Disponibilizados	Radiação Global: médias diárias		
Estações de Medição Vinculadas	Aproximadamente 100 ⁷	Regiões de Captação	Brasil
Descrição e Observações	O modelo GL foi desenhado para avaliar campos de radiação solar à superfície a partir de informações de satélites geoestacionários. O INPE ⁸ mantém o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) que é responsável pela operação de uma série de estações ambientais automáticas (ou Planasformas de Coleta de Dados- PCD). A metodologia utilizada no modelo GL é validada através da comparação com dados medidos em superfície pelas PCDs. Por meio da análise de um dos relatórios de avaliação de rendimento do modelo GL 1.2 foi possível obter uma estimativa da quantidade de PCDs que mantem a medição de dados radiométricos.		
REDE SONDA/ PROJETO SWERA			
Dados Disponibilizados	Médias de 1 minuto de: radiação global, radiação difusa, radiação direta, radiação atmosférica e radiação fotossinteticamente ativa (PAR).		
Estações de Medição Vinculadas	Aproximadamente 16 ⁹	Regiões de Captação	Brasil
Descrição e Observações	Com o intuito de desenvolver uma base de dados de radiação a UNEP ¹⁰ desenvolveu o projeto SWERA ¹¹ . O principal objetivo do projeto é tornar de acesso público informações confiáveis de energia solar e eólica. Nesse contexto, a rede SONDA ¹² surgiu como um projeto do INPE com o objetivo de desenvolver os estudos acerca da medição da radiação solar em superfície no Brasil e apoiar o projeto SWERA.		

Atualmente o modelo GL 1.2 é analisado com a comparação de dados de outros programas e de países vizinhos, como pode ser verificado no relatório de Ceballos *et al.* (2011). O relatório ainda afirma que entre estações do INPE e do Instituto Nacional Meteorológico (INMET) o Brasil possui mais de 800 estações instaladas, contudo o relatório e os referidos institutos não afirmam quantas estações possuem medições radiométricas atualmente. Por isso, adotou-se como referência bibliográfica e metodológica o relatório do INPE de 2005. As Tab. 2 e Tab. 3 apresentaram breves descrições acerca de relevantes projetos relacionados à manutenção e obtenção de dados solarimétricos. É importante observar que muitas das estações estão vinculadas a mais de um grupo mostrado na tabela, portanto é inviável a identificação destas repetições, de modo a se obter o valor absoluto total de estações. Também se considera que muitos outros equipamentos e estações, como aqueles mantidos por universidades e demais centros de estudos podem não estar vinculados a nenhum dos projetos especificados na tabela. Dentre os projetos mostrados, dois estão prioritariamente comprometidos com a manutenção de dados mais precisos - que são de principal interesse para a compreensão da modelagem do recurso solar como fonte primária de energia. Esses projetos - Rede SONDA e o BSRN – possuem uma quantidade de estações vinculadas extremamente baixa. A elaboração das Tab. 2 e Tab. 3 contou com a busca de fontes

⁶ Estimativa elaborada através das informações dispostas no mapa da pg. 33 de TIBA *et al.* (2000)

⁷ Estimativa elaborada através das informações dispostas no mapa da pg. 14 de INPE (2005)

⁸ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

⁹ Estimativa elaborada através das informações dispostas em SONDA (2014)

¹⁰ Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

¹¹ Solar and Wind Energy Resource Assessment

¹² Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais

atuais, contudo também não é possível assegurar que todas as informações correspondam à quantidade exata de estações em operação no atual momento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Distribuição ótima de estações ao longo do espaço terrestre

O número ideal de estações solarimétricas instaladas no contexto do aproveitamento energético deve satisfazer as necessidades dos tomadores de decisão para a definição do dimensionamento de plantas solares, determinando com certo nível de precisão a energia disponível ao longo dos anos. Esse número varia em função dos critérios adotados pelos autores citados na revisão bibliográfica introdutória desse estudo. A Tab. 4 mostra as restrições citadas.

Tabela 4- Critérios e restrições para aproveitamentos de dados radiométricos medidos em solo

AUTORES	CRITÉRIO (DISTÂNCIA)	RESTRIÇÃO/METODOLOGIA
Cros <i>et al.</i> (2003)	30 km	Utilização dos mesmos dados.
Tiba <i>et al.</i> (2000)	200 km	Extrapolação da média mensal, com erros da ordem de 15%.
Irsolav (2010)	10 km	Utilização dos mesmos dados de média mensal e em terrenos relativamente planos
	10 à 50 km	Interpolação dos valores de média mensal de estações próximas, desde que elas estejam neste intervalo de distância entre elas e que sejam muitas.

Admite-se que todos os autores definiram os critérios e restrições para valores médios mensais de radiação global. Como o intuito desse estudo é mostrar a distribuição ideal das estações de medição, isso implica na instalação de muitas estações, nesse sentido a metodologia de interpolação entre dados de estações próximas da IRSOLAV (2010) se faz coerente. Neste critério, a distância definida não é entre o ponto que se objetiva a obtenção dos valores de radiação e as estações, mas sim, entre as estações. Como este trabalho sugere uma situação ideal e homogênea de distribuição de estações solarimétricas adotou-se o critério de distância entre estações de 50 km de modo que um ponto localizado na média da distância entre duas estações se distanciará em 25 km de cada estação, obedecendo também o critério mostrado por Cros *et al.* (2003). Portanto adota-se como parâmetro ideal 1 estação solarimétrica instalada a cada 25 km radiais, ou seja, 1 estação a cada aproximadamente 2.000 km². Em vista dos dados mostrados nas Tab. 2 e Tab. 3 é evidente que esse critério se mostra bastante otimista. Esse é exatamente o contexto no qual esse trabalho se encaixa: evidenciar o quão distante a instalação de equipamentos radiométricos está da situação ideal.

3.2 Análise da situação atual em vista da condição ideal

Para determinar a problemática contextualizada de maneira numérica, optou-se pela análise dos dados fornecidos pela WRDC, em virtude do maior detalhamento e amplitude do trabalho do grupo. Em âmbito nacional considerou-se a quantidade de estações participantes do Modelo GL 1.2/INPE-CPTEC em função da maior atualidade dos dados obtidos. As estações vinculadas ao WRDC se distribuem de maneira completamente heterogênea ao longo dos países vinculados ao grupo. A Tab. 5 evidencia a quantidade de estações em alguns países e aponta a média de distribuição das estações e a quantidade de estações ideal.

Tabela 5- Estações vinculadas à WRCD e a quantidade ideal de estações por extensão territorial.

PAÍS	ESTAÇÕES ¹³	IDEAL ¹⁴	TERRITÓRIO ¹⁵	MÉDIA ¹⁶
China	12	4.798	9.596.960,0	800,0
Rússia	30	8.549	17.098.242,0	570,0
França	153	322	643.801,0	4,2
EUA	79	4.913	9.826.675,0	124,4
Canadá	185	4.992	9.984.670,0	54,0
Chile	28	378	756.102,0	27,0
Japão	18	189	377.915,0	21,0
Alemanha	43	178	357.022,0	8,3
Espanha	63	253	505.370,0	8,0

¹³ Quantidade de estações vinculadas à WRCD

¹⁴ Quantidade de estações ideal

¹⁵ Extensão Territorial em Km² (CIA, 2014)

¹⁶ Média de distribuição das estações solarimétricas (10³ Km² por estação)

Dentre os países analisados, a França se encontra com a melhor quantidade relativa de estações solarimétricas e ainda assim o valor de estações é menor que a metade da quantidade ideal. É importante enfatizar que essa análise quantitativa se constrói sobre um modelo simplificado, que não considera estações não vinculadas à WRDC.

O Brasil não possui estações solarimétricas vinculadas à WRDC. Através da análise do Modelo GL 1.2/INPE-CPTEC determinou-se a existência de 100 medidores de radiação. Considerando que o Brasil possui uma extensão territorial de 8,514,877 km² (CIA, 2014), define-se que o país deveria registrar a instalação de 4.257 estações solarimétricas. Isso significa que atualmente o Brasil possui, em média, 1 estação a cada 8,5 x 10³ km². Em termos percentuais, o país possui apenas 2% da quantidade de estações ideal. Enquanto a França, Alemanha, Espanha, Canadá e Estados Unidos possuem 48%, 24%, 25%, 4% e 1,6% respectivamente. Evidenciam-se esses países em virtude de estes serem os que possuem a maior quantidade de estações medidoras vinculadas à WRDC.

3.3 Considerações finais e especificidades não detalhadas

Estações solarimétricas possuem altos custos de aquisição, manutenção e operação. A instalação destas deve ocorrer em regiões de interesse e com perspectivas de aproveitamento do recurso solar de modo a serem viabilizadas economicamente na atualidade. Nesse estudo buscou-se evidenciar um panorama geral da importância e da quantidade atual dessas estações, para tal, foi necessária a adoção de uma série de simplificações. Essa seção tem como objetivo preencher algumas lacunas originadas das simplificações adotadas e pontuar questões relevantes ao assunto, para tal, listam-se os aspectos a seguir:

Medições obtidas: para as estimativas adotadas nesse estudo, analisaram-se apenas dados de médias mensais de radiação global visto que esses são os dados mais encontrados atualmente. A disponibilidade desses em abundância já contribuiu para estimativas mais apuradas do recurso solar.

Dificuldades geográficas e áreas de interesse: não foram consideradas nesse estudo as limitações geográficas. Em terrenos com relevos muito heterogêneos a interpolação de dados pode não resultar em valores fidedignos. Nesse sentido, consideram-se também regiões nas quais o aproveitamento energético fica limitado pelo uso e ocupação do solo, como a região da floresta amazônica, por exemplo. Contudo, tratando-se da compreensão do recurso solar enquanto modelamento de fonte primária de energia, quanto maior a quantidade de estações instaladas, melhor será a compreensão do comportamento dessa fonte sob a perspectiva climática, geográfica e de formulação de séries históricas.

Distribuição média: a análise entre a distribuição média e a ideal, incluindo os índices percentuais calculados, considera que as estações atuais encontram-se instaladas de maneira homogênea ao longo dos territórios dos países analisados, contudo a distribuição real encontra-se muito aquém de uma distribuição ideal, como pode ser verificado nos mapas disponibilizados pelas referências das Tab. 2 e Tab. 3.

4 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados mostram que até os países mais desenvolvidos possuem uma quantidade de estações muito aquém do ideal, mesmo se forem consideradas apenas as áreas nas quais a instalação se justifica pela perspectiva do aproveitamento energético.

No caso do Brasil, a quantidade de estações instaladas e a caracterização das mesmas foi o principal desafio metodológico desse estudo e parte dele não foi atingido. Para a estimativa da quantidade de radiômetros instalados foi necessária à estimativa através da análise de documentos de 2005 em função da dificuldade na obtenção de dados atualizados e organizados sobre as estações solarimétricas mantidas e operadas no país.

O estudo também mostrou os principais esforços nacionais e internacionais na obtenção de dados radiométricos e evidenciou as dificuldades de obtenção de dados de qualidade. Programas voltados a esse fim, como a Rede SONDA e o BSRN possuem pouquíssimas estações vinculadas. Caso esses programas tivessem sido usados como elementos de comparação entre o real e o ideal, a discrepância encontrada seria infinitamente maior.

Conclui-se a indiscutível necessidade de obtenção de dados radiométricos confiáveis medidos em solo para avanços científicos, tecnológicos e comerciais do aproveitamento do recurso solar como fonte energética diante do atual contexto da busca por fontes alternativas de energia limpa.

Mais do que a necessidade da instalação de novas estações, há uma necessidade latente de organização dos registros das estações existentes, principalmente no Brasil. Esse estudo deixou evidente o grande caminho a ser percorrido para a consolidação de uma rede confiável, monitorada e amplificada de medições solarimétricas no Brasil e no mundo.

Agradecimentos

À CESP por ser financiador dos P&Ds ANEEL PD-0061-0043/2014, ANEEL PE-0061-0037/2012 e ANEEL PE-0061-0034/2011, que possibilitaram o desenvolvimento deste artigo. E também a equipe de pesquisadores do GEPEA/EPUSP e colaboradores que participaram direta e indiretamente na realização destes P&Ds ANEEL

REFERÊNCIAS

- CEBALLOS, J. C., RODRIGUES, M. L., OLIVEIRA, L. M. Desempenho do Modelo GL versão 1.2 época: outubro 2010 – dezembro 2010. Cachoeira Paulista: Rst-dsa, 2011. Relatório Técnico 01/11-RST-DSA.
- CIA. U.S. Central Intelligence Agency. The World Factbook. Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2147rank.html>>. Acesso em: 28 jun. 2014.
- CROS, Sylvain; WALD Lucien. Survey of the Main Databases Providing Solar Radiation Data at Ground Level. In 23rd EARSel Annual Symposium Remote Sensing in Transition, Jun, 2003, Ghent, Belgium. Milpress, pg. 491-497, 2004.
- DSG. Energia Fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projecto e instalação. Lisboa: Greenpro, 2005
- ETH. Swiss Federal Institute of Technology Zurich. Global Energy Balance Archive: Metadata. Disponível em: <<http://www.geba.ethz.ch/retrieval/Metadata>>. Acesso em 11. Out. 2014
- GALLEGOS, H. G.; LOPARDO R. Spatial variability of the global solar radiation obtained by the Solarimetric Network in the Argentine Pampa Húmeda. Solar Energy, v. 40, n. 5, p. 397-404, 1988.
- GILGEN, H.; OHUMURA, A. The Global Energy Balance Archive. Bulletin of the American Meteorological Society, Boston, v. 80, n. 5, p.831-850, maio, 1999.
- INPE. Instituto de Pesquisas Especiais. Desempenho do modelo GL versão 1.2 variável: radiação global diária. Época de análise: 2005. 2005. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/docs/GLAnalise2005janjun.pdf>>. Acesso em 11. Out. 2014
- IRSOLAV. Análisis y Tratamiento de Datos Medidos en la Estación de Station. Madri: Irsolav, 2014.
- MARTINS, F. R., PEREIRA, E. B. ECHER, M. P. S. Levantamento dos Recursos de Energia Solar no Brasil com o Emprego de Satélite Geoestacionário: O Projeto Swera. Revista Brasileira do Ensino de Física, São Paulo, v. 26, n. 2, p.145-159, 2004.
- PAULESCU, M., PAULESCU, E., GRAVILA, P., BADESCU, V. Weather Modeling and Forecasting of PV Systems Operation: green energy and technology. London: Springer-Verlag, 2013.
- SONDA. Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/infos/sobre_projeto.html>. Acesso em: 20 jun. 2014
- TIBA, C., FRAIDENRAICH, N., MOSZKOWICZ, M., CAVALCANT, E. S. C., LYRA F. J. M., NOGUEIRA, Â. M. B., GALLEGOS, H. G. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétrico. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.
- WMO. World Meteorological Organization. Baseline Surface Radiation Network (BSRN): operations manual, version 2.1. Geneva: WCRP-121; WMO/TD-No. 1274, 2005.
- WRDC, World Radiation Data Center. World Radiation Data Center. Disponível em: <<http://wrdc.mgo.rssi.ru/>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

OBTAINING RADIOMETRIC DATA FOR ENERGY ENHANCEMENTS: A NATIONAL AND GLOBAL CHALLENGE

Abstract. *The need for solar radiation data with high level of reliability is indisputable and appears increasingly necessary in function of the use of these data in several areas of knowledge such as agriculture, study of climate change and energy uses. This article aims to discuss the amount of radiometric ground measurements available nationally and globally focusing on knowledge of the solar resource for purposes of electricity generation. To this end, initially it is discussed the importance of radiation records in the Earth's surface. Then it is analyzed the optimal distribution of the amount of measurement stations in the Earth's surface. Lastly the institutions and programs for the registration and storage of the most relevant radiometric measurements in Brazil and in the world are defined. As a result, the study presents an estimate of the number of stations installed in Brazil and in the world. The validity of the data available for the purpose of energy uses studies is also discussed.*

Key words: *Solar Energy, Solar Radiation Measurements*