

ESTUDO DA RADIAÇÃO SOLAR ATRAVÉS DA EQUAÇÃO DE ÅNGSTRÖM-PRESCOTT PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

Wênio Fhará Alencar Borges, wenioborges@hotmail.com^{1, 2}

Alex Maurício Araújo, ama@ufpe.br¹

Augusto Antônio Coutinho Silva, augustoacoutinho@gmail.com¹

Eduardo Corte Real Fernandes, eduardocrfenandes@gmail.com¹

Eduardo José Novaes de Menezes, eduardomnovaes@gmail.com¹

Guilherme José Arruda Moura Rocha, guilhermejamr@gmail.com¹

Lucas Iolanda de Andrade, lucas_iolanda@hotmail.com¹

Oyama Douglas Queiroz de Oliveira Filho, oyamadouglas@gmail.com¹

¹Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciência e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Recife-PE, Brasil.

²Instituto Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil.

Resumo: A radiação solar global é tema de interesse de diversas áreas, como na meteorologia, climatologia, estimativa de energia, aquecimento e iluminação solar, uso de energia renovável, dentre outros. Desta forma, este trabalho trata do estudo da radiação solar global através da equação de Ångström-PreScott, visando aplicações em sistemas de geração de energia renovável, principalmente a solar fotovoltaica. Uma revisão bibliográfica será realizada a fim de se encontrar os coeficientes da equação e, conseqüentemente, a determinação da radiação solar global. Uma análise estatística será desenvolvida objetivando comparar os resultados obtidos através das equações e os valores encontrados em banco de dados.

Palavras-chave: Ångström-PreScott, radiação solar, energia.

1. INTRODUÇÃO

Nos sistemas solares fotovoltaicos, a luz que é recebida diretamente do sol é convertida em energia. É a radiação solar. A radiação solar que é a energia que chega do sol em forma de ondas eletromagnéticas, tem se tornado bastante atrativa nos últimos anos, pois é de grande importância para muitas aplicações na área de energia solar [1]. Para o Brasil, segundo dados do Balanço Energético Nacional [2], publicado em junho de 2017, afirma-se que devido as políticas regulamentadoras, o país teve destaque quanto a energia solar fotovoltaica em termos de capacidade instalada, com potência de 56,9 MW.

Dados de radiação solar são essenciais para se avaliar o potencial solar de um determinado local. Em problemas de otimização, quando se utiliza programas computacionais, é preciso fornecer informações específicas como radiação solar média, na forma de dados horários ou mensal [3]. Em certos lugares, quando existem estações de coleta de dados próximas, como as do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), o trabalho de coleta e análise de informações torna-se mais fácil. Dados de horas de sol e radiação solar média mensal são exemplos de informações que podem ser obtidos por estas estações. Todavia, para regiões onde não se possui estações próximas, dados de radiação solar, a exemplificar, podem ser estimadas utilizando-se uma série de equações [4-5]. Os dados de radiação quando estimados usando essas equações são referentes a radiação ao nível do solo [6]. Uma forma de validação dos dados estimados através dessas equações pode ser feita através de comparação com as bases de dados, por exemplo, do Meteonorm (Meteonorm Global Meteorological Database) [7].

De tal forma, este trabalho, portanto, investiga o potencial solar, através do estudo da radiação solar no nordeste brasileiro, visando aplicações em sistemas de geração de energia renovável. O objetivo desse trabalho será apresentar uma revisão bibliográfica dos coeficientes da equação de Ångström-PreScott, encontrados a partir de dados meteorológicos, para determinação do potencial de radiação solar global em uma determinada região.

2. METODOLOGIA

Neste trabalho, para a determinação do potencial solar, será utilizado equações a fim de se obter a radiação solar global para algumas das principais cidades do nordeste brasileiro, utilizando-se sua localização específica. Uma revisão bibliográfica será realizada para se conhecer os valores para os coeficientes da equação de Ångström–Prescott a fim de se realizar uma análise estatística de tal forma que se encontre o erro obtido entre as informações de banco de dados e os seus valores reais obtidos.

2.1. Equação de Ångström–Prescott

Uma forma de se obter dados de radiação solar média mensal é utilizando a equação de Ångström–Prescott. Esta equação é a mais utilizada para esse fim.

$$H = H_0 \cdot \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (1)$$

onde H é a radiação solar média mensal em superfície horizontal (MJ/m²/dia), H_0 é a radiação extraterrestre diária média mensal (MJ/m²/dia), n é o número de horas de brilho solar diária média mensal, N é quantidade máxima de horas de brilho solar diária, a e b são coeficientes de regressão, que é característico da região analisada.

Uma das informações mais importantes nessa equação são os coeficientes a e b . A forma mais utilizada para se obtê-los é usando a técnica de mínimos quadrados em locais onde existem dados medidos de radiação global e número de horas de brilho solar. Uma vez que esses parâmetros são estimados para todos os lugares possíveis e disponíveis em uma região, então, de acordo com as similaridades climatológicas e geográficas, os valores dos coeficientes para outras regiões podem ser ajustados por especialistas [8]. Finalmente, com esses dados obtidos, pode-se usar a Eq. 1, de Ångström–Prescott para obter os valores de radiação global.

A radiação solar global em superfície horizontal para a localização de interesse é um dos parâmetros mais empregados no projeto e previsão do desempenho de um sistema de energia solar [9-10]. Portanto, a equação a seguir é advinda a partir da geometria solar e necessária para estimar as médias mensais de radiação solar:

$$H_0 = \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360n_d}{365} \right) \right) * \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right) \quad (2)$$

A Eq. 2, da radiação extraterrestre diária média mensal (H_0) que surge da equação de Ångström–Prescott origina além de algumas constantes, outras novas equações, como mostrado na figura abaixo:

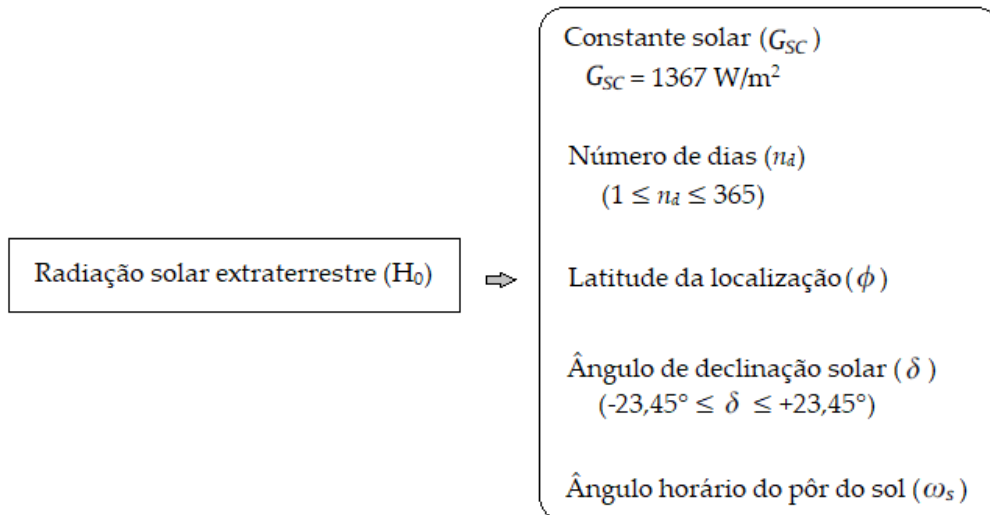


Figura 1. Constantes e equações

Fonte: Autor, 2018.

O ângulo de declinação solar δ , é dado pela Eq. 3 e o ângulo horário do pôr do sol, ω_s , é dado por Eq. 4:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left(360 \frac{248 + n_d}{365} \right) \quad (3)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (4)$$

Voltando a equação de Ångström-Prescott, temos que n , número de horas de brilho solar diária média mensal, que é a insolação, é obtido a partir dos dados coletados na estação de dados meteorológicos. Já a quantidade máxima de horas de brilho solar diária, N , é obtido através da Eq. 5, sendo o mesmo dependente da latitude do local. A razão entre n/N é chamado de razão de insolação.

$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (5)$$

Em aplicações práticas, de acordo com [8], uma das dificuldades em se usar a Eq. 1, de Ångström-Prescott, é que geralmente nos valores dos coeficientes, dados de dispersão temporal e espacial são acompanhados, mesmo para estações próximas e climatologicamente similares. Consequentemente, a atribuição de valores de coeficientes para outras estações pode ser mais difícil porque os pesquisadores podem não ter nenhuma medida da variabilidade desses coeficientes para um dado local. Isso se deve ao fato de que as técnicas clássicas de regressão só fornecem um único valor médio para cada coeficiente, uma vez fornecido os dados de irradiação solar e de duração do sol para um local.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através de pesquisa foi possível encontrar na literatura diversos trabalhos publicados apresentando os valores dos parâmetros da equação de Ångström-Prescott visando determinar a radiação solar global na superfície terrestre (H). Após a revisão dessas publicações, foi criado a Tabela 1, onde sintetiza os parâmetros a e b para várias as principais localidades no nordeste.

Tabela 1. Coeficientes da equação de Ångström-Prescott para várias cidades no nordeste.

	Localização		Coord. Geográficas			Coef. de Ångström			Ref.
	Cidade	Estado	Lat. (S)	Long. (O)	Alt. (m)	a	b	R^2	
Nordeste	Água Branca	AL	9°15'	37°56'	570	0,24	0,48	0,95	[11]
	Pão de Açúcar	AL	9°43'	37°26'	19	0,34	0,38	0,95	[11]
	Palm. dos Índios	AL	9°24'	36°37'	296	0,30	0,43	0,95	[11]
	Barreiras	BA	12°10'	45°00'	441	0,31	0,41	0,94	[12]
	Ilhéus	BA	14°80'	39°00'	65	0,28	0,45	0,90	[12]
	Paulo Afonso	BA	9°40'	38°30'	250	0,30	0,38	0,98	[12]
	Salvador	BA	12°58'	38°28'	8	0,23	0,49	0,77	[12]
	Barbalha	CE	7°30'	39°30'	406	0,25	0,45	0,95	[12]
	Cratêus	CE	5°20'	40°70'	277	0,24	0,50	0,91	[12]
	Sobral	CE	3°70'	40°40'	84	0,30	0,37	0,92	[12]
	Fortaleza	CE	3°43'	38°32'	21	0,27	0,36	-	[13]
	Barra do Corda	MA	5°50'	45°30'	153	0,29	0,36	0,97	[12]
	Carolina	MA	7°30'	47°50'	185	0,27	0,35	0,96	[12]
	São Luiz	MA	2°50'	44°30'	36	0,28	0,34	0,95	[12]
	João Pessoa	PB	7°10'	34°90'	7	0,33	0,32	0,82	[12]
	Monteiro	PB	7°90'	37°10'	250	0,33	0,38	0,80	[12]
	Patos	PB	7°00'	37°30'	249	0,25	0,47	0,97	[12]
	Pombal	PB	7°00'	38°10'	200	0,26	0,46	0,82	[12]
	Cabrobó	PE	8°50'	39°30'	325	0,27	0,45	0,86	[12]
	Recife	PE	8°10'	34°90'	18	0,27	0,44	0,94	[12]
	Petrolina	PE	9°23'	40°30'	376	0,29	0,38	0,90	[14]
	Surubim	PE	7°80'	35°80'	418	0,34	0,38	0,90	[12]
	Floriano	PI	6°80'	43°00'	123	0,25	0,45	0,94	[12]
	M. do Cavalo	PI	7°80'	41°90'	242	0,28	0,39	0,84	[12]
	Parnaíba	PI	03°05'	41°46'	46,8	0,32	0,46	0,63	[15]
	Teresina	PI	5°05'	42°48'	87	0,31	0,37	-	[13]
	Cruzeta	RN	6°40'	36°80'	266	0,33	0,35	0,80	[12]
	Propriá	SE	10°20'	36°90'	35	0,31	0,44	0,89	[12]

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvida uma revisão da literatura acerca dos coeficientes de Ångström-Prescott para a determinação da radiação solar global, necessária para a utilização e dimensionamento de sistemas de geração de energias renováveis, principalmente, a solar fotovoltaica. Uma tabela com os dados obtidos a partir da revisão

bibliográfica foi apresentada, de tal forma que apresentam dados confiáveis, e que podem ser aplicados em estudos de casos, a fim de se determinar a radiação solar mensal para um local. Como forma de validação dos dados, é possível compará-los com os dados obtidos a partir de base de dados, como a da NASA (Meteonorm Database) [7].

5. REFERÊNCIAS

- Almoroxa, J.; Benitob, M.; Hontoria, C. Estimation of monthly Angstrom–Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain. *Renewable Energy*, 2005; 30:931-936.
- Alves, A.R.; Vianello, R.L. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV, 1991, 449p.
- Andrade Júnior, A.S.; Noleto, D.H.; Da Silva, M.E.; Braga, D.L.; Bastos, E.A. Coeficientes da equação de Angström–Prescott para Parnaíba, Piauí. *Comunicata Scientiae* 2012, 3(1):50-54.
- Bekele G.; Palm, B. Feasibility study for a standalone solar-wind hybrid energy system for application in Ethiopia. *Appl Energy* 2010; 87(2):487–95.
- Bekele, G.; Tadesse, G. Feasibility study of small Hydro/PV/Wind hybrid system for off-grid rural electrification in Ethiopia. *Applied Energy* 2012, 97:5–15.
- Brasil, Ministério de Minas e Energia (MME). BEN-Balanco Energético Nacional, Brasília, 2017. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em 30/08/2017.
- De Souza, J.L.; Lyra, G.B.; Dos Santos, C.M.; Ferreira Junior, R.J.; Tiba, Chigueru; Lyra, G.B.; Lemes, M.A.M. Empirical models of daily and monthly global solar irradiation using sunshine duration for Alagoas State, Northeastern Brazil. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2016, 14:35-45.
- Hussain, M.; Rahman, L.; Rahman, M. M. Techniques to obtain improved predictions of global radiation from sunshine duration. *Renew Energy* 1999, 18:263–75.
- Duffie, J.A.; Beckman, W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4ª ed. Nova York: Wiley, 2013.
- Meteonorm Global Meteorological Database. Version 7.2. Bern: Meteotest; Setembro, 2017. Disponível em: <http://www.meteonorm.com>.
- Rahimia, I.; Bakhtiarib, B.; Qaderib, K.; Aghababaeic, M. Calibration of Angstrom equation for estimating Solar Radiation using Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm (Case study: Mashhad-East of Iran). *Energy Procedia* 2012, 18:644-651.
- Sen, Z.; Öztopal, A.; Sahin, A. Application of genetic algorithm for determination of Angström equation coefficients. *Energy Conversion & Management* 2001, 42:217-231.
- Tamrat B. Comparative analysis of feasibility of solar PV, wind and micro hydropower generation for rural electrification in the selected sites of Ethiopia. Universidade Addis Ababa, Dissertação de mestrado, Julho de 2007.
- Teixeira, A.H. de C. Relação entre a radiação solar global e insolação no município de Petrolina-PE. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11. Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2, 1999. Florianópolis-SC. Anais... Florianópolis: EPAGRI/SBA, 1999. CD-ROM.
- Tiba, C. Solar radiation in the Brazilian Northeast. *Renewable Energy* 2001, 22:565–578.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY OF SOLAR RADIATION THROUGH EQUATION OF ÅNGSTRÖM-PRESCOTT FOR ENERGY GENERATION

Wênio Fhará Alencar Borges, wenioborges@hotmail.com^{1,2}

Alex Maurício Araújo, ama@ufpe.br¹

Augusto Antônio Coutinho Silva, augustoacoutinho@gmail.com¹

Eduardo Corte Real Fernandes, eduardocrfenandes@gmail.com¹

Eduardo José Novaes de Menezes, eduardomnovaes@gmail.com¹

Guilherme José Arruda Moura Rocha, guilhermejamr@gmail.com¹

Lucas Iolanda de Andrade, lucas_iolanda@hotmail.com¹

Oyama Douglas Queiroz de Oliveira Filho, oyamadouglas@gmail.com¹

¹Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciência e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Recife-PE, Brasil.

²Instituto Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil.

Abstract. *Global solar radiation is a topic of interest in several areas, such as meteorology, climatology, energy estimation, solar heating and lighting, renewable energy use, among others. In this way, this work deals with the study of global solar radiation through the Ångström-Prescott equation, for applications in renewable energy generation systems, mainly solar photovoltaic. A bibliographical review will be carried out in order to find the coefficients of the equation and, consequently, the determination of the global solar radiation. A statistical analysis will be developed aiming at comparing the results obtained through the equations and the values found in the database.*

Keywords: *Ångström-Prescott, solar radiation, energy.*