



## COMPARAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR MEDIDA COM VALORES ESTIMADOS A PARTIR DE DADOS DE NEBULOSIDADE

**Eduardo L. Krüger**

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia - PPGTE

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR

Av. Sete de Setembro, 3165

80230-901 Curitiba - PR

e-mail: [krueger@ppgte.cefetpr.br](mailto:krueger@ppgte.cefetpr.br)

**Roberto Lamberts**

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

Universidade Federal de Santa Catarina - NPC

Caixa Postal 476

88040-900 Florianópolis - SC

e-mail: [lamberts@ecv.ufsc.br](mailto:lamberts@ecv.ufsc.br)

*RESUMO A posse de dados de radiação solar direta, difusa ou global é necessária para que sejam feitas simulações com diversos softwares de avaliação de desempenho térmico e energético de edificações, como por exemplo o TRNSYS e o Visual DOE. Entretanto, geralmente não se dispõe de tais dados. As informações constantes das planilhas de dados climáticos de aeroportos ou estações climatológicas apresentam informações horárias sobre a quantidade de nuvens na abóbada celeste. Este tipo de estimativa é bastante impreciso, sendo feito a partir de observações da quantidade e tipo de nuvem existente em determinada hora. As observações são feitas a olho nu, sem uso de equipamentos de medição, o que aumenta seu grau de imprecisão. Nesta pesquisa, foram comparados valores medidos de radiação solar global em plano horizontal com valores de radiação gerados por um software de simulação térmica e energética de edificações a partir de dados de nebulosidade, com o intuito de averiguar o grau de correlação entre valores medidos e simulados da radiação em uma determinada localidade.*

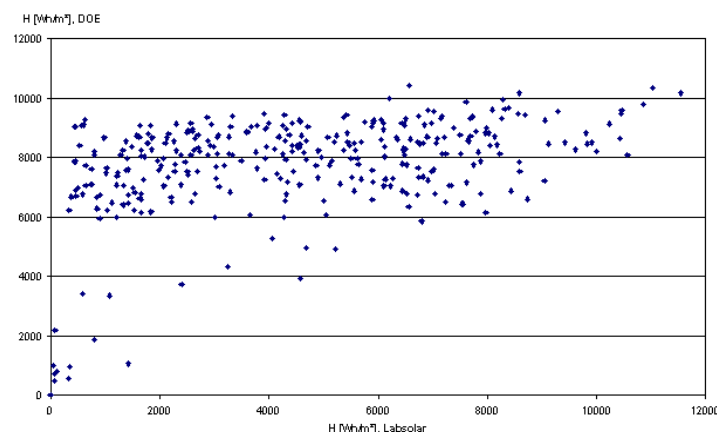
*ABSTRACT Availability of solar radiation data is necessary perform simulations with various softwares of thermal and energy evaluation of buildings, such as TRNSYS and Visual DOE. Nevertheless, this information is generally not available. Weather data from airports presents only hourly information regarding cloud cover. This kind of record is not much precise, being made from the simple observation of the existent cloud amount and type for a given hour. These observations are usually made without any technical equipment. In this research, measured global radiation data in a horizontal plane was compared with radiation data generated by a software of thermal and energy simulation of buildings using cloud cover data. The correlation between measured and simulated values was then analysed.*

## 1 Introdução

Na falta de dados de radiação para determinada localidade, é possível dispor de equações empíricas que ofereçam valores de radiação solar incidente a partir da quantidade de horas de sol ou da nebulosidade da abóbada celeste. Dados de nebulosidade, entretanto, oferecem menos vantagens que informações acerca da quantidade de horas de sol. De fato, algoritmos como o de Ångström relacionam valores médios de radiação à quantidade média de horas de sol. Além disso, a relação estatística entre quantidade de horas de sol e radiação é mais provável que a de nebulosidade e radiação, dado que a quantidade de horas de sol pode ser obtida através de equipamentos de medição como os de Campbell-Stokes (Duffie & Beckman, 1991).

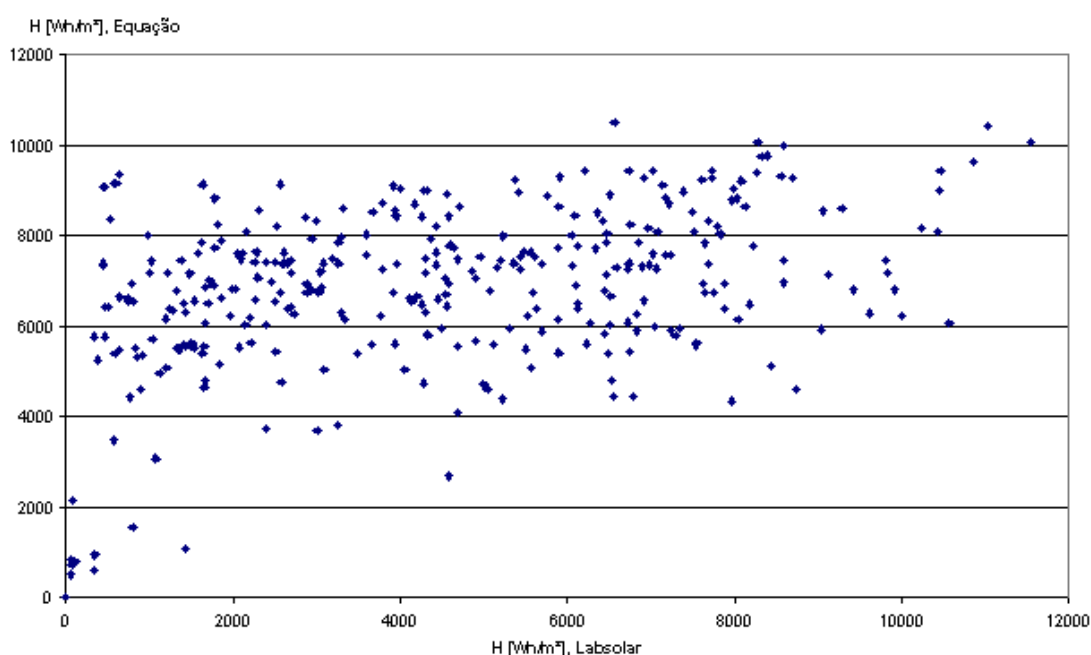
## 2 Comparação de Resultados

Tomando como base os dados horários de nebulosidade para Florianópolis (Latitude 27° 40'S), obtidos na estação climatológica do Aeroporto Hercílio Luz em Florianópolis no ano de 1996, o modelo para cálculo de radiação solar a partir da nebulosidade contido no software DOE-2 foi usado para estimar a radiação solar. A comparação foi feita então com dados reais medidos, do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (Labsolar), para o mesmo ano de 1996 (Fig.1).



**Fig. 1 Comparação Radiação Total Diária Labsolar / Resultante do programa DOE para Florianópolis,1996**

Comparando-se os dados resultantes de simulação com dados medidos de radiação solar global para Florianópolis, verificou-se que, para a série anual de dados, o coeficiente de correlação é da ordem de 0.76. Realizando-se uma análise de variância, observou-se entretanto que o coeficiente de determinação  $R^2$  é consideravelmente pequeno, sendo este 0.58. O teste de significância para a amostra mostrou que a regressão é válida, porém, realizando-se mais alguns testes estatísticos (o teste-F e o teste-t, presumindo-se que as amostras possuam variâncias equivalentes), concluiu-se que os valores medidos e os calculados são estatisticamente diferentes. Alguns algoritmos relacionam nebulosidade à radiação global existente na presença de nuvens, como em Kasten e Czeplak (1979) e em Olseth & Skartveit (1993). Os valores obtidos através da equação de Kasten e Czeplak que associa a nebulosidade à radiação global em dias de céu claro para obtenção da radiação global com nebulosidade ( $I_{\text{modif}} = I_{\text{céu claro}} - 0.75 \cdot I_{\text{céu claro}} \cdot [N/8]^{3/4}$ ), mostraram-se mais distantes ainda dos valores medidos. Neste caso, os coeficientes R de correlação e  $R^2$  de determinação foram respectivamente 0.74 e 0.54 (comp. Fig. 2).



**Fig. 2 Comparação Radiação Total Diária Labsolar / Equação de Kasten-Czeplak para Florianópolis, 1996**

Realizando-se uma análise de regressão entre a série de valores resultante de simulação e a obtida através da referida equação, obteve-se um coeficiente de regressão  $R^2$  de 0.95, verificando-se assim que o algoritmo usado pelo programa DOE se assemelha à equação considerada, ou seja, o programa utiliza para as simulações um algoritmo que recalcula os dados de nebulosidade em termos de radiação em plano horizontal.

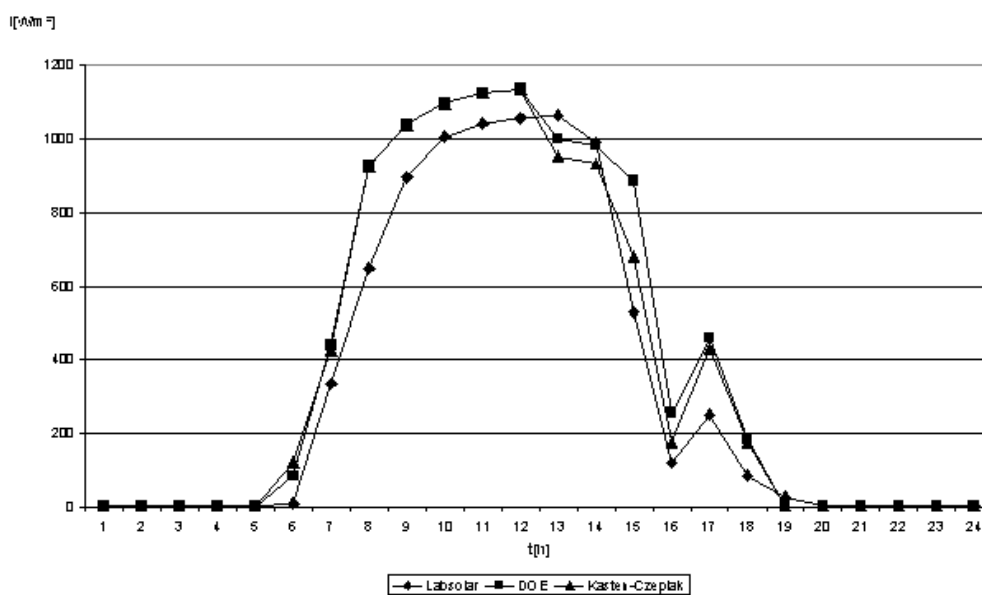
Presumindo-se que as variações dentro da amostra ocorrem devido a dias de maior e menor incidência de radiação, em que a estimativa da nebulosidade da abóbada influi em maior ou menor grau na determinação da radiação, comparou-se as curvas para um dia de alta e um dia de baixa incidência de radiação, respectivamente 9 de janeiro e 9 de novembro (comparar Tab. 1 e 2, Fig. 3 e 4). Procedendo-se uma análise de regressão para estes casos, obteve-se valores semelhantes para os coeficientes R e  $R^2$ , ambos bastante significativos, como mostram as figuras abaixo.

**Tab. 1** Análise de Regressão para dia de alta incidência de radiação

<i>Estatística de regressão: 09/01/1996</i>	
R múltiplo	0,977838
R-Quadrado	0,956166
R-quadrado ajustado	0,954174
Erro padrão	92,57558
Observações	24

**Tab. 2** Análise de Regressão para dia de baixa incidência de radiação

<i>Estatística de regressão: 9/11/1996</i>	
R múltiplo	0.948294
R-Quadrado	0.899261
R-quadrado ajustado	0.894682
Erro padrão	49.97058
Observações	24



**Fig. 3** Radiação Global p/dia de alta incidência (09/01/1996)

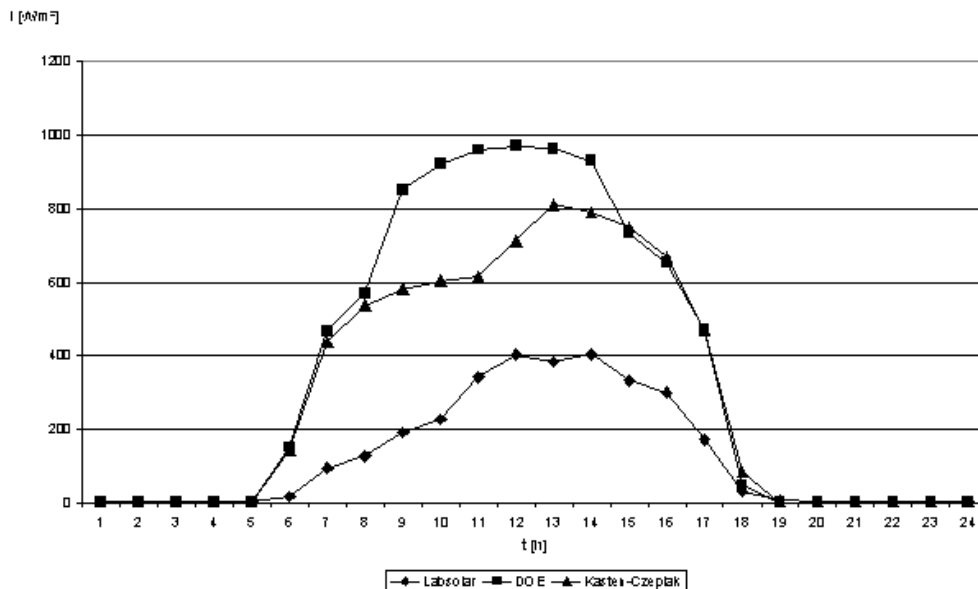


Fig. 4 Radiação Global p/dia de baixa incidência (09/11/1996)

Verificou-se então, face a estes dados, que as distorções ocorrem em dias onde os valores de nebulosidade são médios. Nas situações extremas, nas quais se atribuiria um valor baixo para a quantidade de nuvens (1 ou 0, dias de céu claro) ou um valor bastante alto (9, para céu encoberto, com concentração de nuvens do tipo Cumulonimbus) (comp. Fig. 5 e 6), a estimativa torna-se mais simplificada. Além disso, nas duas situações extremas, o cobrimento do céu é mais homogêneo, o que reduz diferenças entre as características da radiação onde esta foi medida (Labsolar, na UFSC, em Trindade) e onde se deu a estimativa da nebulosidade, no Aeroporto Hercílio Luz, a aproximadamente 20 km dali. Uma outra explicação para as diferenças, também de grande importância, está na quantidade de informações disponíveis. Enquanto que as estimativas no aeroporto foram pontuais, feitas de hora em hora, as medições da radiação incidente foram feitas de dois em dois minutos e integradas para uma hora.

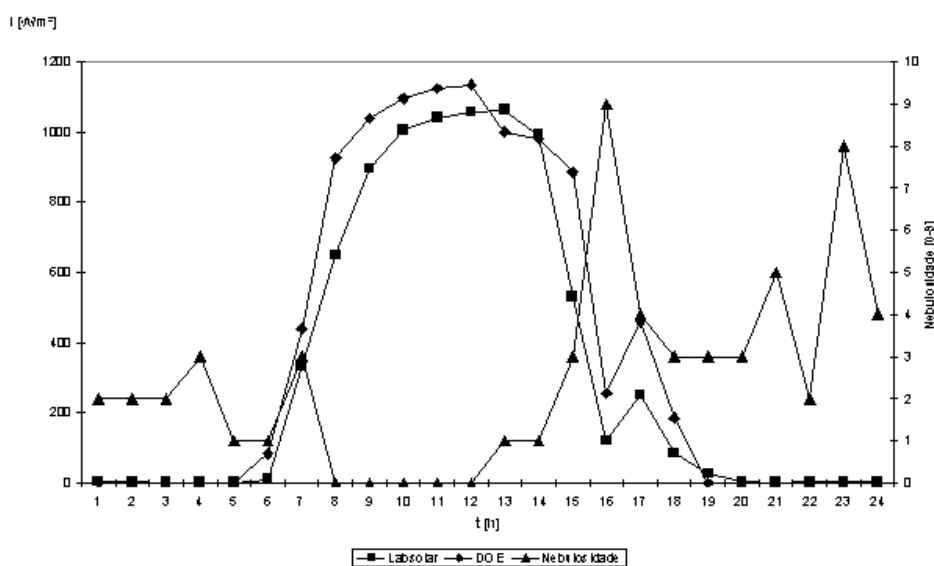


Fig. 5 Radiação Medida, Calculada pelo DOE e Nebulosidade para 09/01/1996

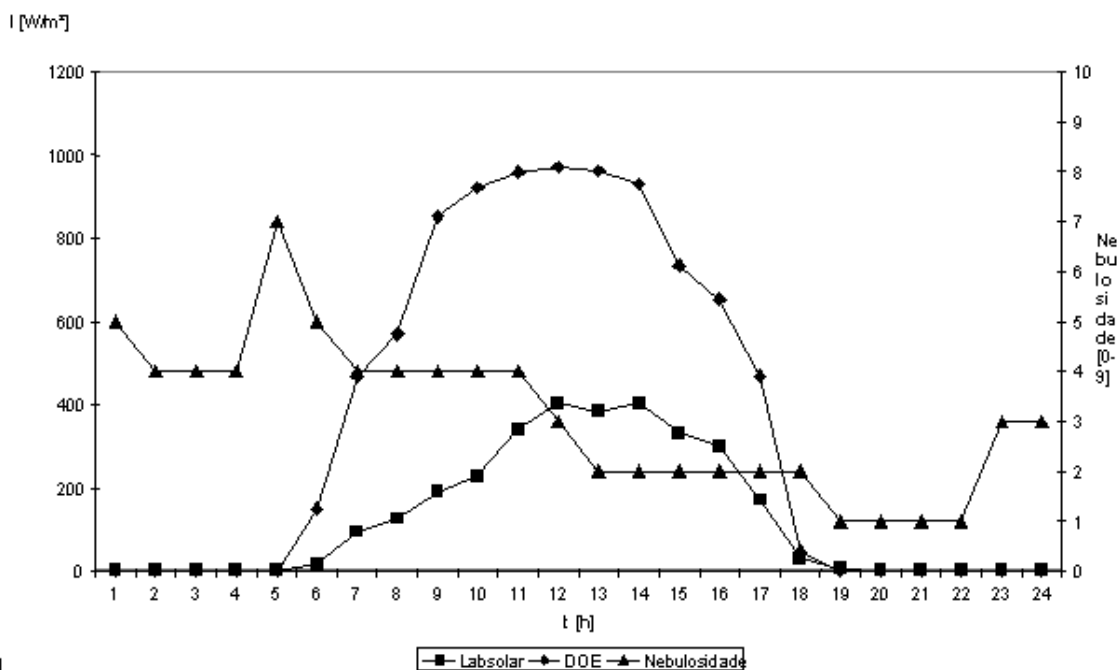


Fig. 6 Radiação Medida, calculada pelo DOE e Nebulosidade para 09/11/1996

### 3 Conclusões

A predição da radiação global para uma localidade, utilizando-se o DOE-2 em função da quantidade estimada de nuvens, em grande parte devido à imprecisões na estimativa de nebulosidade, é problemática. Em dias de pouca nebulosidade, isto é, com maior incidência de radiação, como por exemplo, para o dia 09/01, é possível observar correlações mais fortes, pois neste caso a estimativa da nebulosidade tem menor importância e tem praticamente pouca influência nos cálculos de radiação. O erro embutido nos cálculos de radiação do DOE-2 está diretamente ligado à estimativa da radiação. Na Fig. 7, observa-se a frequência de ocorrência para dias de diferente nebulosidade.

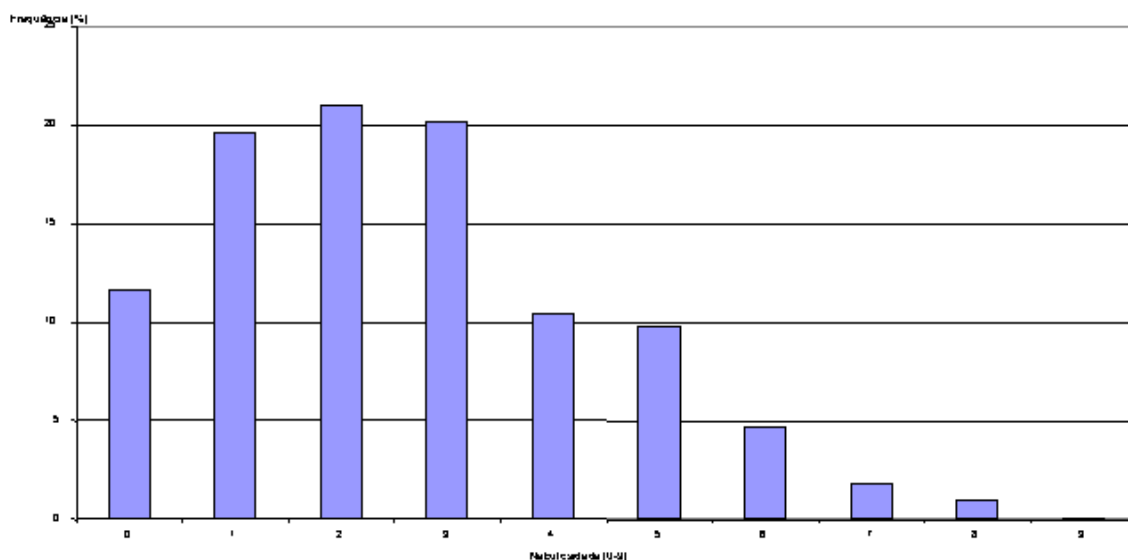


Fig. 7 Frequência de ocorrência para diferentes valores de nebulosidade

Note-se, entretanto, que as discrepâncias observadas na série anual de dados medidos e calculados se devem a oscilações nas estimativas de nebulosidade para os dias de nebulosidade média. Apenas para as duas situações extremas, em que a estimativa da nebulosidade não oferece grandes dificuldades, ou seja, para o dia de maior e de menor incidência de radiação, os valores simulados aproximam-se com fidelidade dos medidos.

#### **4 Referências Bibliográficas**

Duffie, J.A. & Beckman, W.A. (1991): *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: John Wiley & Sons.

Kasten, F. & Czeplak, G. (1980): Solar and Terrestrial Radiation Dependent on the Amount and Type of Cloud. *Solar Energy*, Vol. 24, 177-189.

Olseth, J.A. & Skartveit, A. (1993): Characteristics of Hourly Global Irradiance Modelled from Cloud Data. *Solar Energy*, Vol. 51, N° . 3, 197-204.