



Ciência e Natura

ISSN: 0100-8307

cienciaenaturarevista@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria  
Brasil

Morgenstern. Aimi, Daniele; Roberti, Débora Regina; Maldaner, Silvana; Degrasia,  
Gervazio; Diaz, Marcelo; Waghetti Sebastiany, Edyson; Rubert, Gisele Cristina  
Calibração de equações Clássicas para radiação de onda longa na Região de Pampa em  
dias de céu claro

Ciência e Natura, vol. 38, -, 2016, pp. 367-371

Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467547689060>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Calibração de equações Clássicas para radiação de onda longa na Região de Pampa em dias de céu claro

Classic calibration equations for long wave radiation in the Pampa region on a clear day

**Daniele Morgenstern. Aimi<sup>1\*</sup>; Débora Regina Roberti<sup>1</sup>; Silvana Maldaner<sup>2</sup>; Gervasio Degrasia<sup>1</sup>; Marcelo Diaz<sup>1</sup>; Edyson Waghetti Sebastiany<sup>1</sup> e Gisele Cristina Rubert<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Física/Laboratório de Micrometeorologia, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.  
danielefm@gmail.com; debora@ufsm.br; gervasiodegrasia@gmail.com; marbdiaz@gmail.com;  
surycktheone@hotmail.com; girubert@gmail.com;

<sup>2</sup>Coordenadoria acadêmica – UFSM Campus de Cachoeira do Sul  
silvana.maldaner@gmail.com

### Resumo

*A radiação de onda longa atmosférica é uma quantidade fundamental no cálculo do balanço de radiação na superfície. Medidas desta grandeza na região do Pampa gaúcho são escassas. Uma alternativa para estimar esta variável é o emprego de equações clássicas que utilizam valores de temperatura do ar e da pressão de vapor. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de cinco equações na estimativa da radiação de onda longa atmosférica para dias de céu claro em uma área bioma Pampa localizada na cidade de Santa Maria-RS. Medidas de radiação de onda longa atmosférica realizadas durante todo o ano de 2014 no sítio de Santa Maria/Brasil foram utilizadas para validar o desempenho das equações. Após as estimativas de radiação pelas equações clássicas, um ajuste por mínimos quadrados foi empregado para calibrar tais equações ao bioma do Pampa. Com o ajuste observou-se que a equação de Brutsaert (1975) foi a que melhor descreveu a radiação de onda longa observada na região do PAMPA.*

**Palavras-chave:** Radiação de onda longa, Pampa, céu claro, temperatura do ar, pressão de vapor.

### Abstract

*The atmospheric longwave radiation is a fundamental quantity in calculating the radiation balance at the surface. Measures of this magnitude in the gaucho Pampas region are scarce. An alternative estimate for this variable is the use of classical equations that use air temperatures and steam pressure. The objective of this study was to evaluate the performance of five equations in the estimation of the long atmospheric wave radiation for a clear day on a Pampa biome located in Santa Maria-RS. Atmospheric longwave radiation measurements taken throughout the year 2014 on the site of Santa Maria / Brazil were used to validate the performance of equations. After the radiation estimates by classical equations, an adjustment by least squares was employed to calibrate such equations to the biome Pampa. By adjusting it noted that the equation Brutsaert (1975) was best described observed long wave radiation in the PAMPA region.*

**Keywords:** Longwave radiation, Pampa, clear sky, air temperature, vapor pressure.

## 1 Introdução

A radiação de onda longa proveniente da atmosfera é uma importante componente do balanço de radiação utilizada em modelagem atmosférica. No entanto, medidas desta componente não são realizadas usualmente por estações convencionais, além disso, os instrumentos utilizados para tanto, em geral, emitem radiação em comprimentos de onda e intensidade comparáveis aos da suposta medida (Von Randow e Alvalá, 2006). Equações empíricas e analíticas são utilizadas para a estimativa da radiação de onda longa em locais onde estas medidas não são realizadas. Em geral, estas equações utilizam medidas da temperatura do ar, humidade relativa e da pressão de vapor d'água (Prata, 1996). Porém, a maioria dessas equações estima a radiação de onda longa atmosférica para dias de céu claro e foram calibradas para o Hemisfério Norte. Visando a necessidade de se obter equações de radiação de onda longa atmosférica que representem os diferentes climas terrestres, o objetivo deste trabalho é avaliar seis equações que estimam a radiação de onda longa atmosférica, e compará-las com dados experimentais obtidos num sítio experimental situado no bioma Pampa, fazendo um ajuste dos coeficientes das equações originais. Os dados experimentais de radiação analisados são do ano de 2014.

## 2 Material e métodos:

Os dados utilizados no presente trabalho foram coletados por uma torre micrometeorológica em um sítio experimental de campo nativo no bioma Pampa, localizado no município de Santa Maria-RS, pertencente a Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (Latitude: -29,7241°; Longitude: -53,7597°; Altitude: 88 m). Na torre micrometeorológica a radiação de onda longa é medida pelo sensor CNR 4 Net Radiometer e a umidade relativa e a temperatura pelo Termohigrômetro HMP155/Vaisala, todos a 3m de altura.

As estimativas da radiação de onda longa atmosférica incidente na superfície ( $L_{in}$ ) foram realizadas a partir das equações de Brunt (1932), Swinbank (1963), Idso e Jackson (1969), Brutsaert (1975) e Anderson (1954), conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Equações clássicas para a radiação de onda longa atmosférica ( $L_{in}$ ).

Autor	Equação*	Coefficientes
Brunt (1932)	$L_{in} = A + B(e_a)^{1/2} \sigma T^4$	A=0.52 B=0.065
Anderson (1954)	$L_{in} = A + B(10e_a)^{1/2} \sigma T^4$	A=0.68 B=0.036
Swinbank (1963)	$L_{in} = (AT^2) \sigma T^4$	A= $9.2 \times 10^{-6}$
Idso e Jackson (1969)	$L_{in} = (1 - A \exp(B(273 - T)^2)) \sigma T^4$	A=0.261 B=-0.000777
Brutsaert (1975)	$L_{in} = A(T/e_a)^{1/7} \sigma T^4$	A=1.24
Satterlund (1979)	$L_{in} = A(1 - \exp(-e_a^{T/B})) \sigma T^4$	A=1.08 B=2016

\* $\sigma$ , constante de Stefan-Boltzmann ( $5,6697 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>);  $e$ , pressão de vapor d'água (hPa);  $T$ , a temperatura do ar (K);  $e_s$ , pressão de saturação do vapor d'água;  $e_a$ , a pressão atual do vapor d'água.

A pressão de saturação do vapor d'água ( $e_s$ ) foi calculada a partir da equação de Tetens (1930) e a pressão atual do vapor d'água ( $e_a$ ) foi calculada utilizando a  $e_s$  e a umidade relativa.

Como as equações avaliadas (Tabela 1) foram desenvolvidas para estimar a radiação de onda longa atmosférica apenas sob condições de céu claro, foi realizada uma caracterização de dias de céu claro com base na razão entre a irradiância solar global ( $R_g$ ) e a irradiância solar no topo da atmosfera ( $R_o$ ),  $R_g/R_o$ , utilizando a metodologia empregada por Ricielli (1998). Os dias considerados como dias de céu claro foram aqueles em que a razão entre a  $R_g$  e a  $R_o$  foi superior a 0,65. A radiação solar extraterrestre diária e horária foi estimada usando a relação geométrica Terra-Sol (Iqbal, 1983) e a constante solar 1367 W/m<sup>2</sup>. Os dados A e B usados na Tabela 1 são dados da literatura.

4 Resultados

Do período analisado (ano de 2014), 184 dias foram de céu claro. A Figura 1 mostra o ciclo diurno médio da radiação de onda longa atmosférica calculada empregando as equações clássicas (Tabela 1) e a  $L_{lin}$  experimental (Dados Experimentais).

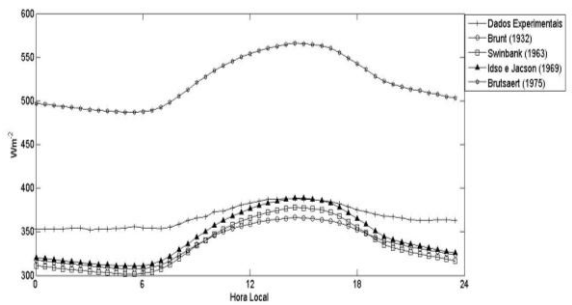


Figura 1: Ciclo diurno médio da radiação de onda longa atmosférica experimental e calculada usando as equações e parâmetros A e B da Tabela1.

As equações de Anderson (1954) e Satterlund (1979) não se ajustaram aos dados experimentais de radiação de onda longa atmosférico, pois ultrapassaram a ordem de  $10^5$  W/m<sup>2</sup>.

Observa-se que o Brunt (1932) superestimou os valores obtidos experimentalmente em mais de 150W/m<sup>2</sup>, com alto RMSE (Tabela 2) enquanto que os demais autores subestimaram tais resultados, mas com RMSE próximos. Para o horário do entre 11 e 16 h, a equação de Idso e Jacson (1969) estimou uma radiação de onda longa atmosférica de 388.4 W/m<sup>2</sup>. Este valor foi o que mais se aproximou do valor experimental para este horário (388.8 W/m<sup>2</sup>). Porém, para a noite esta equação não respondeu a magnitude do fenômeno, variando de 314.2 W/m<sup>2</sup> das 0 as 6 h da manhã e em torno de 331.9 W/m<sup>2</sup> das 18 as 24 h, enquanto experimentalmente obteve-se valores de aproximadamente 350W/m<sup>2</sup>.

As equações de Swinbank (1963) e Brunt (1932) apresentaram um comportamento semelhante ao longo do ciclo diurno, com valores sempre menores que os experimentais.

Observando a discrepância entre os valores observados e estimados pelas equações clássicas calibrou-se cada uma delas para a região do Pampa utilizando o método dos mínimos quadrados para estimativa de A e B (Tabela 2). A Figura 2 mostra as novas

estimativas para a  $L_{lin}$  empregando os coeficientes A e B ajustados ao Pampa no sul do Brasil.

Tabela 2. Coeficientes A e B ajustados para o bioma Pampa no Sul do Brasil.

Autor	Coefficientes ajustados
Brunt (1932)	A=146.85 B=0.125
Anderson (1954)	A=1 B=0.0639
Swinbank (1963)	A=1.025E-5
Idso e Jacson (1969)	A=0.26 B=-7.77E-4
Brutsaert (1975)	A=0.889279

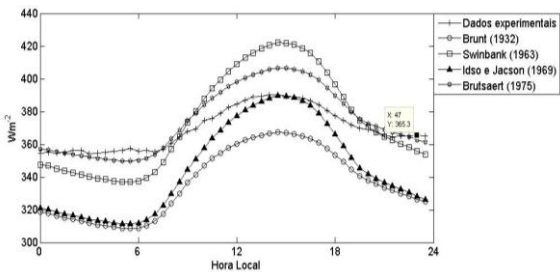


Figura 2: Ciclo diurno médio da radiação de onda longa atmosférica experimental e calculada usando as equações da Tabela1 e os parâmetros ajustados A e B da Tabela 2.

Tabela 3: RMSE diário médio para o período para as estimativas de  $L_{lin}$  para a região do PAMPA

Modelo	Usando A e B da Tabela 1	Usando A e B estimado pelo presente trabalho
Brunt (1932)	33.27	9.86
Swinbank (1963)	35.76	9.91
Idso e Jacson (1969)	28.51	9.91
Brutsaert (1975)	154.91	9.37

A estimativa da radiação de onda longa atmosférica utilizando os parâmetros A e B ajustados mostra que a equação de Brutsaert (1975) foi a que mais se aproximou dos valores experimentais, com menor RMSE, obtendo o valor de  $406.7 \text{ W/m}^2$  para o período entre meio dia e as 16hs, sendo que os valores experimentais para este mesmo horário são da ordem de  $380 \text{ W/m}^2$ ; o período das 0 as 6 h os valores ficaram próximos aos  $360 \text{ W/m}^2$  tanto experimental como o valor obtidos pela equação de Brutsaert (1975). No período noturno, das 19 a 24 h, observa-se valores muito próximos de  $350 \text{ W/m}^2$ , correspondendo aos valores experimentais.

A equação de Swinbank (1963) superestimou o valor observado em cerca de  $30 \text{ W/m}^2$  e ficou na média de  $421.7 \text{ W/m}^2$  entre 10 e 16 h. Das 0 as 6 h tivemos este modelo subestimando o valor experimental assumindo valores da ordem de  $367 \text{ W/m}^2$  enquanto que o valor experimental foi de  $356 \text{ W/m}^2$ , levando em conta que o valor do RMSE (9.91) não apresentou muita variação com os índices da literatura.

Equação de Idso e Jackson (1969) entre 14 e 16h apresentou valores muito próximos do experimental e, após as 18h os valores experimentais são subestimado, com diferença de quase  $30 \text{ W/m}^2$ . A equação de Brunt (1932) subestimou a Lin experimental para todo o período, tendo quase  $40 \text{ W/m}^2$  de diferença no horário próximo as 16 h, apresentando valores de RMSE próximo dos maiores, quando do uso dos coeficientes calibrados. Porém por ter subestimado em ambas os casos, ou seja, com coeficientes da literatura e com coeficientes estimados, esta não seria uma boa aproximação para descrever a radiação de onda longa atmosférica sobre o Pampa.

## 7 Conclusões

As equações que levam em consideração a pressão de vapor d'água e a temperatura do ar tiveram melhor desempenho na estimativa da radiação de onda longa atmosférica que as equações que utilizam apenas a temperatura do ar, como é o caso das

equações de Swinbank (1963) e Idso e Jackson (1969). A equação de Brutsaert (1975) apresentou o melhor desempenho, obtendo os maiores índices de concordância, e sendo, portanto, a equação mais indicadas para a estimativa da radiação de onda longa atmosférica na região do Pampa no Sul do Brasil.

Por sua vez, torna-se evidente também, a necessidade de novas parametrizações para estimar a radiação de onda longa atmosférica que possam ser utilizadas para todas as condições de cobertura do céu.

## Agradecimentos

CAPES, CNPQ

## Referências

VON RANDOW, R. C. S.; ALVALÁ, R. C. S. Estimativa da Radiação de Onda Longa Atmosférica no Pantanal Sul Mato-Grossense Durante os Períodos Secos de 1999 e 2000. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 21, n. 3b, p. 398-412, 2006.

PRATA, A. J. A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface. Quarterly Journal Resource Meteorological Society, v. 122, p. 1127-1151, 1996.

TETENS, O. Über cinige meterorologische Begriffe. Z. Geophys., n.6, p. 297-309, 1930.

BRUNT, D. Notes on radiation in the atmosphere. Quarterly Journal Resource Meteorological Society, v. 58, p. 389-418, 1932.

BRUTSAERT, W. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. Water Resources Research, v. 11, n. 5, p. 742-744, Oct. 1975.

GALVÃO, J. A. C.; FISCH, G. Balanço de radiação em área de pastagem na Amazônia. Revista Brasileira de Agrometeorologia. v. 8, n. 1, p. 1-10, 2000.

IDSO, S. B.; JACKSON R. D. Thermal Radiation from the Atmosphere. Journal Geophysics Research, v. 74, n. 23, p. 5397-5403, 1969.

IDSO, S. B. A set of equations for full spectrum and 8 to 14  $\mu\text{m}$  and 10.5 to 12.5  $\mu\text{m}$  thermal radiation from cloudless skies. Water Resources Research, v. 17, n. 2, p. 295-304, 1981.

IQBAL, M., 1983. An Introduction to Solar Radiation. Academic Press, Toronto.

RICIERI, R.P. Modelos de estimativa e avaliação dos métodos de medida da radiação solar difusa, UNESP, Botucatu, 1998. 81 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 1998.