

**ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO DE ONDA LONGA ATMOSFÉRICA NO PANTANAL SUL  
MATOGROSSENSE DURANTE O PERÍODO SECO DE 1999**

**Rita de Cássia da Silva, Regina Célia dos Santos Alvalá**

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE)

Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos, SP, 12201-970

Email: [rcassia@cptec.inpe.br](mailto:rcassia@cptec.inpe.br), [regina@cptec.inpe.br](mailto:regina@cptec.inpe.br)

**Antônio Ocimar Manzi**

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE)

Rod. Pres. Dutra, km 40, Cachoeira Paulista, SP, 12630-000

Email: [manzi@cptec.inpe.br](mailto:manzi@cptec.inpe.br)

**Amaury de Souza**

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Campo Grande, MS

E-mail: [amaury@nin.ufms.br](mailto:amaury@nin.ufms.br)

**ABSTRACT**

The performance of 7 methods for estimating the long-wave atmospheric radiation flux ( $L\downarrow$ ) were analyzed for data obtained in a site in the Southern Mato Grosso Pantanal (19°33'48,2"S; 57°00'53,8"W), during the dry period of 1999. The estimates from these formulations underestimate  $L\downarrow$  values, when compared to the measurements. Using locally correlated coefficients, the estimate of  $L\downarrow$  from the Brutsaert and the Prata models showed the best results. Notwithstanding, they should be used with care, because they were adjusted for a situation with the presence of fires near the site.

**INTRODUÇÃO**

O fluxo de radiação de onda longa proveniente da atmosfera ( $L\downarrow$ ) é uma importante componente da troca radiativa no nível da superfície e esta, por sua vez, é uma importante componente do balanço de energia. O saldo de radiação de ondas longas, também chamada radiação termal ou radiação efetiva, é importante na determinação da troca de energia no período noturno, quando há ocorrência de orvalho e geadas. Por outro lado, o saldo de radiação total é importante na determinação da troca de energia durante o dia, quando ocorre a maior parte da evapotranspiração. Assim sendo, o fluxo do saldo de radiação de ondas longas é a forçante da formação de geadas, enquanto aquela da evapotranspiração é o fluxo de saldo de radiação total, a qual fornece o calor latente de vaporização exigido, embora a condução de calor e a convecção também desempenhem importante papel. Estes fluxos de radiação são de grande importância em estudos meteorológicos e climatológicos, bem como em projetos de estufas e outras construções, com a finalidade de prever seus balanços térmicos e conseqüente clima interno (Heitor et al., 1991).

A radiação de onda longa proveniente da atmosfera é seguramente a componente do balanço de radiação mais difícil de ser medida. Embora haja instrumentos para sua medida, esses emitem radiação em comprimentos de onda e intensidade comparáveis àquelas da suposta medida. No entanto, em muitas situações práticas em Meteorologia, pode-se estimar a radiação de onda longa através de variáveis mais facilmente medidas (Brutsaert, 1982), ou por diferença, através da equação do balanço de radiação, como nos trabalhos de Manzi et al. (1986); André et al. (1988); Viswanadham et al. (1990); Bastable et al. (1993); Feitosa (1996), entre outros.

Diferentes formulações têm sido propostas para estimar a radiação de onda longa da atmosfera à superfície terrestre. Métodos empíricos e analíticos estimam a radiação a partir de valores de temperatura do ar e da pressão de vapor ou ponto de orvalho, medidas no nível do abrigo (Prata, 1996). A principal diferença entre os métodos analíticos e empíricos está no fato dos primeiros terem sido derivados a partir de uma base física, enquanto os últimos são obtidos a partir de correlações empíricas.

Métodos detalhados utilizam perfis específicos dos constituintes atmosféricos, e incluem o conhecimento de suas propriedades radiativas, para derivar a emissão atmosférica. Em princípio, estes métodos detalhados são preferidos, embora, na prática, necessitem de informações iniciais detalhadas do estado da atmosfera, bem como de informações fundamentais referentes às propriedades radiativas dos constituintes atmosféricos, em especial das propriedades do vapor d'água no intervalo de 8-13 $\mu$ m.

A maioria das equações que estimam a radiação de onda longa da atmosfera (Ångström, 1918; Brunt, 1932; Elsasser, 1942; Swinbank, 1963; Idso e Jackson, 1969; Brutsaert, 1975 e Satterlund, 1979) só têm validade para dias de céu claro, e apresentam melhor desempenho quando se considera base diária ou média a longo prazo. Portanto, estimativas horárias, freqüentemente exigidas em modelos de balanço de energia à superfície, são mais sujeitas a erros, sendo, muitas vezes, necessário que sejam ajustadas de acordo com a hora do dia (Alados – Arboledas e Jimenez, 1988). Em dias cobertos, devem ser efetuados ajustes para incluir os efeitos da nebulosidade.

Este trabalho tem como objetivo estimar a radiação de onda longa proveniente da atmosfera no Pantanal Sul Matogrossense para o período seco a partir de sete modelos: Brunt, (1932); Swinbank, (1963); Idso e Jackson, (1969); Brutsaert, (1975), Satterlund, (1979); Idso (1981) e Prata (1996), bem como compará-los com valores medidos obtidos em experimento realizado pelo Projeto Interdisciplinar do Pantanal em setembro de 1999.

## SÍTIO EXPERIMENTAL E CLIMATOLOGIA DO PANTANAL

O Pantanal é uma das maiores planícies de sedimentação do globo. É uma região impropriamente conhecida por “Pantanal”, uma vez que nela não ocorrem capeamentos generalizados de detritos vegetais ou acumulações típicas de matéria orgânica, comuns nos ambientes de gênese pantaneira (Sánchez, 1977).

Localizado no centro do continente sul-americano (entre 16°- 20°S; 58°- 50°O), o Pantanal encontra-se em grande parte no centro oeste brasileiro, e também na Argentina, Bolívia e Paraguai. Inundado pela bacia do Alto Paraguai, que no Brasil foi delimitada e quantificada em 361.666 km<sup>2</sup>, o Pantanal brasileiro possui 138.183 km<sup>2</sup>, ocupando, portanto, 38,21% da área da bacia. Da área total, 35,36% e 64,64% estão nos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, respectivamente, conforme levantamento de Vila da Silva e Abdon. (1998), o que torna o Pantanal a maior planície inundável da Terra.

As queimadas na região do Pantanal são práticas bastante comuns, principalmente na segunda metade da estação seca (agosto - setembro), por caracterizarem-se como uma das formas mais econômicas aos pecuaristas, uma vez que em poucos dias ou semanas após a queimada, a vegetação brota, abastecendo o gado com capim saboroso, rico em proteínas, celulose e sal (Coutinho, 1990). No entanto, pouco se conhece sobre a taxa de deposição local oriunda da emissão para a atmosfera de gases do efeito estufa e de material particulado, apesar da emissão representar somente um termo na equação de troca atmosférica de espécies traço (Andreae, 1991; Alvalá e Kirchoff, 2000). Conseqüentemente, a extensão em que a queima da biomassa pode alterar a composição atmosférica local necessita ser avaliada e quantificada.

O clima do Pantanal, predominantemente tropical, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo "Aw", isto é, com invernos secos e verões úmidos, os quais caracterizam as savanas do hemisfério Sul. A temperatura média anual varia em torno de 25°C, com as temperaturas máximas atingindo 40°C no verão; entretanto, devido à penetração de massas de ar frio oriundas das planícies dos pampas e do Chaco, a temperatura diminui rapidamente, podendo haver ocorrência de geadas (Por, 1995). Conforme também ressaltou Valverde (1972), o regime de verão úmido deve-se à penetração de massas de ar continental equatorial de origem amazônica, enquanto o clima de inverno é dominado pelas massas de ar tropical do Atlântico, oriundas de regiões brasileiras com topografia mais altas. A penetração de frentes atmosféricas oriundas da região polar antártica alcança, algumas vezes, a região do Pantanal, chegando a ocorrer extremos de temperatura próximos de 0°C durante o inverno.

A umidade relativa média é, em geral, da ordem de 70%, alcançando valores máximos de 80% no final do verão (Tarifa, 1986). A maior parte do Pantanal caracteriza-se por um déficit hidrológico anual de 300 mm, resultante de uma pluviosidade média inferior a 1100 mm e evapotranspiração aproximadamente igual a 1400 mm (Alfonsi e Paes de Camargo, 1986). A precipitação anual nas regiões adjacentes mais altas é superior a 1500 mm e não há déficit de evaporação (Por, 1995).

Com um regime hidrológico peculiar, o Pantanal apresenta dois regimes sazonais distintos, com épocas secas (de abril a setembro) caracterizadas por apresentar chuvas raras e temperatura bastante agradável e, a partir de outubro, épocas inundadas de acordo com a intensidade e a duração das precipitações (Rao et al., 1996). O regime de chuvas também determina uma alternância nas condições do solo, que fica alagado no verão e seco no inverno. Assim, há regiões altas que nunca são atingidas pelas cheias, regiões baixas que ficam quase sempre submersas e regiões de altitudes intermediárias, que se apresentam secas a maior parte do ano e alagadas durante alguns meses (Magalhães, 1992).

A diversidade das condições ambientais determina uma grande variedade de vegetação. É comum no Pantanal a ocorrência de formações vegetais denominadas parques, nas quais sobressai uma espécie em particular. Entre elas estão os carandazais, em que o elemento predominante é a palmeira carandá, os buritizais, onde dominam a palmeira buriti e os paratudais, formados por um tipo de ipê, o paratudo, sendo esta última espécie a que predomina na região estudada. Próximo às margens dos rios encontram-se as matas-ciliares ou matas-galeria, formadas por árvores de grande e médio porte, intercaladas por arbustos e ricas em trepadeiras ou lianas. Próximos às margens baixas dos rios e lagoas, formam-se banhados onde aparecem plantas típicas de brejos de água doce, entre as quais, a taboa, a araruta, o piri e as bananeiras (Magalhães, 1992).

Diversas espécies de plantas aquáticas, com raízes flutuantes povoam os rios e lagos, dentre as quais destacam-se os aguapés (conhecidas como camalote), que se deslocam com a correnteza dos rios. Há também plantas aquáticas com raízes fixas, como a sagitária, as ninfêias e a vitória régia, as quais ficam presas ao solo (Magalhães, 1992; Por, 1995).

Toda a riqueza encontrada no Pantanal caracteriza a região como uma área não homogênea, que apresenta diversos ecossistemas com características próprias, o que implica na importância da sua preservação e conhecimento científico.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Como parte de um amplo programa de estudos do Pantanal Sul Matogrossense, o Projeto Interdisciplinar do Pantanal (IPE), vem realizando experimentos para coleta de dados micrometeorológicos desde 1996, visando investigar a estrutura da camada limite superficial acima da região.

Os dados utilizados neste trabalho foram coletados em setembro de 1999 dentro do projeto supra citado. Para a obtenção dos dados utiliza-se uma torre micrometeorológica, instalada próximo à Base de Estudos do Pantanal (BEP), da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), na região Sul do Pantanal (19°33'48"S; 57°00'53"W), em Passo do Lontra, município de Corumbá, MS. A base localiza-se distante cerca de 315 km de Campo Grande, 100 km de Corumbá e 100 km de Miranda. Conforme ressaltou Marques Filho (1999), a escolha do local acima mencionado deveu-se às condições de infra-estrutura disponíveis e às facilidades de acesso. Os ventos predominantes são de noroeste neste local, contribuindo para trazer informações micrometeorologicamente relevantes do Pantanal central para o sítio experimental.

Para as medidas da radiação de onda longa necessárias ao estudo foi utilizado um saldo radiômetro CNR1 (Kipp & Zonen, Holanda) com acurácia de  $\pm 10\%$  para totais diários. O mesmo foi instalado na torre micrometeorológica a 21m de altura, em um mastro com 4 m de comprimento e orientados para Norte. No topo desta torre também estão instalados instrumentos para medidas de temperatura e de umidade (psicrômetro TEMP 107 da Campbell, montado no Instituto de Hidrologia, RU), de vento (anemômetro da Vector Inst.), bem como sensor para medida de pressão atmosférica (barômetro da Vaisalla) e chuva (pluviômetro da Didcot). Para a aquisição dos dados, utilizaram-se dois sistemas de aquisição CR10X da Campbell Scientific, Inc. Estes foram programados para ler os sensores a cada 10 segundos e a cada minuto fazer a média dos parâmetros medidos. Os dados foram coletados de 08 a 29 de setembro de 1999, ou seja, durante a estação seca da região. Dentre estes dias, foram selecionados oito dias com nebulosidade inferior a 0,5 no período.

Finalmente, comparou-se o desempenho de sete modelos para a radiação de onda longa frente aos dados observados, em seguida ajustando-se linearmente seus parâmetros às medidas, levando em conta a dependência entre as variáveis e a emissividade.

**RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Para o cálculo de  $L\downarrow$  utilizaram-se inicialmente as parametrizações com os coeficientes originais propostos na literatura (Tabela 1).

**TABELA 1-** Equações propostas na literatura

<b>Brunt (1932)</b>	$L\downarrow = [0,065(e^{0,5}) + 0,52] \sigma T^4$
<b>Swinbank (1963)</b>	$L\downarrow = [9 \times 10^{-6}] \sigma T^4$
<b>Idso e Jackson (1969)</b>	$L\downarrow = \{1 - 0,26 \exp[-7,77 \times 10^{-4}(273-T)^2]\} \sigma T^4$
<b>Brutsaert (1975)</b>	$L\downarrow = [1,24 (e/T)^{1/7}] \sigma T^4$
<b>Satterlund (1979)</b>	$L\downarrow = \{1,08[1 - \exp(-e^{T/2016})]\} \sigma T^4$
<b>Idso (1981)</b>	$L\downarrow = [0,7 + 5,95 \times 10^{-5} (e \exp(1500/T))] \sigma T^4$
<b>Prata (1996)</b>	$L\downarrow = \{1 - (1 + \xi) \exp[-(1,2 + 3\xi)^{0,5}]\} \sigma T^4$

$L\downarrow$  a radiação de onda longa da atmosfera ( $W m^{-2}$ ),  $e$  a pressão de vapor d'água (mb)

$T$  a temperatura do abrigo (K) e  $\xi = 46,5 (e/T)$

Na Tabela 2 são apresentados os valores do erro médio absoluto (EMA), do desvio médio quadrático (DMQ), e dos coeficientes de correlação (R) e de determinação ou explicação ( $R^2$ ). Os valores de DMQ obtidos com as parametrizações acima mencionadas foram um tanto elevados ( $30,05 W m^{-2}$  a  $7,40 W m^{-2}$ ), com valores negativos do EMA para quase todas as parametrizações ( $-29,25 W m^{-2}$  a  $-2,01 W m^{-2}$ ), exceto para aquela proposta por Idso ( $0,11 W m^{-2}$ ), indicando que em todas as outras parametrizações, os resultados obtidos foram inferiores aos medidos para o Pantanal Sul Matogrossense, o que pode estar relacionado com os coeficientes utilizados nas equações, os quais foram ajustados para outras regiões, diferentes daquela estudada.. Ressalta-se que os valores de EMA e DMQ encontrados neste trabalho foram menores que aqueles encontrados por Galvão (1999), para uma região de pastagem em Rondônia, e por Silva Correia (2001), para uma área de policultivos na Amazônia, o que mostra que as equações empíricas ajustam-se melhor à região do Pantanal que à região amazônica. Isto pode estar relacionado com o fato do Pantanal estar situado em latitude mais próxima daquelas para as quais os modelos foram originalmente desenvolvidos.

**TABELA 2 –** Resultados estatísticos referentes às estimativas de  $L\downarrow$  para casa parametrização encontrada na literatura

<b>Parametrizações</b>	<b>EMA <math>W m^{-2}</math></b>	<b>DMQ <math>W m^{-2}</math></b>	<b>R</b>	<b><math>R^2</math></b>
<b>Brunt (1932)</b>	<b>-29,25</b>	<b>30,05</b>	<b>0,967</b>	<b>0,935</b>
<b>Swinbank (1963)</b>	<b>-13,04</b>	<b>16,66</b>	<b>0,980</b>	<b>0,961</b>
<b>Idso e Jackson (1969)</b>	<b>-2,01</b>	<b>12,06</b>	<b>0,980</b>	<b>0,961</b>
<b>Brutsaert (1975)</b>	<b>-14,07</b>	<b>15,54</b>	<b>0,969</b>	<b>0,939</b>
<b>Satterlund (1979)</b>	<b>-5,11</b>	<b>7,40</b>	<b>0,977</b>	<b>0,954</b>
<b>Idso (1981)</b>	<b>0,11</b>	<b>9,72</b>	<b>0,961</b>	<b>0,923</b>
<b>Prata (1996)</b>	<b>-14,44</b>	<b>15,81</b>	<b>0,971</b>	<b>0,943</b>

As maiores diferenças entre os valores calculados pelas equações e aqueles medidos, tanto para o período diurno quanto para o noturno, iguais a  $45,12 W m^{-2}$  e  $31,20 W m^{-2}$ , respectivamente, foram obtidos com a equação de Brunt (modelo no qual a emissividade é função apenas da pressão do vapor). Essa equação subestima os valores medidos em todos os horários do dia, assim como os modelos de Brutsaert e de Prata, conforme podem ser vistos na Figura 1. A menor diferença diurna foi obtida com a equação de Idso ( $0,57 W m^{-2}$ ), enquanto a noturna foi obtida com a equação de Satterlund ( $0,43 W m^{-2}$ ), sendo que em ambas as equações a emissividade depende tanto da pressão de vapor quanto da temperatura. Logo, o fato da equação de Brunt gerar as maiores diferenças, tanto no horário diurno quanto no noturno, pode estar associado à emissividade deste modelo, a qual não leva em conta a variação da temperatura. As segundas maiores diferenças no período noturno foram obtidas com os modelos de Swinbank e Idso e Jackson, parametrizações estas em que a emissividade depende somente da temperatura.

Com os dados observados, para o Pantanal, ajustaram-se linearmente os parâmetros dos modelos considerando a dependência as variáveis e a emissividade (Tabelas 3 e 4). Nota-se que, após os ajustes, os valores de DMQ diminuíram significativamente, o que também foi observado no EMA, exceto com a parametrização de Idso, que subestimou os valores medidos proporcionalmente mais do que superestimativa anteriormente ao ajuste. As equações ajustadas de Brunt, de Brutsaert e de Prata, cujas emissividades são dependentes da pressão do vapor em todas elas e da temperatura nas duas últimas, geraram os mesmos coeficientes de determinação ou explicação (0,966), sendo estas as parametrizações que melhor se ajustam aos dados do Pantanal. A Tabela 4 apresenta os valores de EMA, DMQ, R e R<sup>2</sup> para todas as equações ajustadas. Com os ajustes, além da melhoria nos parâmetros estatísticos, nota-se que todas as equações passam a subestimar e superestimar os valores observados mais equitativamente (Figura 2). Ressalta-se que as diferenças entre os valores calculados e medidos diminuíram consideravelmente, independentemente da dependência da emissividade. Uma comparação entre a variação diária dos valores calculados antes e após os ajustes pode ser vista na Figura 3.

**TABELA 3-** Equações com coeficientes ajustados às condições do pantanal em 1999

<b>Brunt (1932)</b>	$L\downarrow = [-0,053(e^{0,5}) + 1,085] \sigma T^4$
<b>Swinbank (1963)</b>	$L\downarrow = [10^{(0,184 \log(T) - 0,520)}] \sigma T^4$
<b>Idso e Jackson (1969)</b>	$L\downarrow = [1 - \exp(-0,0001 T^2 - 1,9033)] \sigma T^4$
<b>Brutsaert (1975)</b>	$L\downarrow = [1,697 - 1,123 (e/T)^{1/7}] \sigma T^4$
<b>Satterlund (1979)</b>	$L\downarrow = \{1 - \exp[-0,242(-e^{T/2016}) - 2,339]\} \sigma T^4$
<b>Idso (1981)</b>	$L\downarrow = [0,90516 - 2 \times 10^{-5} (e \exp(1500/T))] \sigma T^4$
<b>Prata (1996)</b>	$L\downarrow = \{1 - (1 + \xi) \exp[-(13,72 - 0,0689\xi)^{0,5}]\} \sigma T^4$

$L\downarrow$  a radiação de onda longa da atmosfera ( $W m^{-2}$ ),  $e$  a pressão de vapor d'água (mb)

$T$  a temperatura do abrigo (K) e  $\xi = 75,03 (e/T)$

**TABELA 4** – Resultados estatísticos referentes às estimativas de  $L\downarrow$  para as parametrizações ajustadas às condições do Pantanal em 1999

Parametrizações	EMA $W m^{-2}$	DMQ $W m^{-2}$	R	R <sup>2</sup>
<b>Brunt (1932)</b>	1,84	5,05	0,983	0,966
<b>Swinbank (1963)</b>	2,29	4,23	0,980	0,960
<b>Idso e Jackson (1969)</b>	1,93	4,75	0,980	0,961
<b>Brutsaert (1975)</b>	4,76	5,48	0,983	0,966
<b>Satterlund (1979)</b>	1,19	4,44	0,980	0,961
<b>Idso (1981)</b>	-3,77	5,38	0,982	0,964
<b>Prata (1996)</b>	0,55	4,3	0,983	0,966

É importante ressaltar que os modelos para a estimativa da radiação de onda longa atmosférica foram ajustados para as condições do Pantanal Sul Matogrossense para um ano em que foram observados muitos focos de queimadas próximo à região estudada, se comparado com os focos registrados em 1998 e 2000. Assim sendo, ressalta-se que estes modelos devem ser utilizados com cautela, levando-se em consideração as condições de tempo locais daquele ambiente. Outrossim, estes modelos estão sendo ajustados para dados obtidos em outro ano, quando as condições atmosféricas foram diferentes daquelas observadas em 1999, no que concerne ao número de focos de queimadas. Os resultados acima indicam que as parametrizações de Brutsaert e de Prata devem ser preferencialmente escolhidas, se comparadas com a de Brunt, em razão das duas primeiras serem derivadas a partir de uma base física.

## CONCLUSÕES

As estimativas da radiação de onda longa atmosférica através de diferentes modelos propostos na literatura foram comparadas com dados medidos na região do Pantanal Sul Matogrossense durante a estação seca de 1999. Os resultados indicaram que os coeficientes originais das equações, de um modo geral, subestimaram os valores

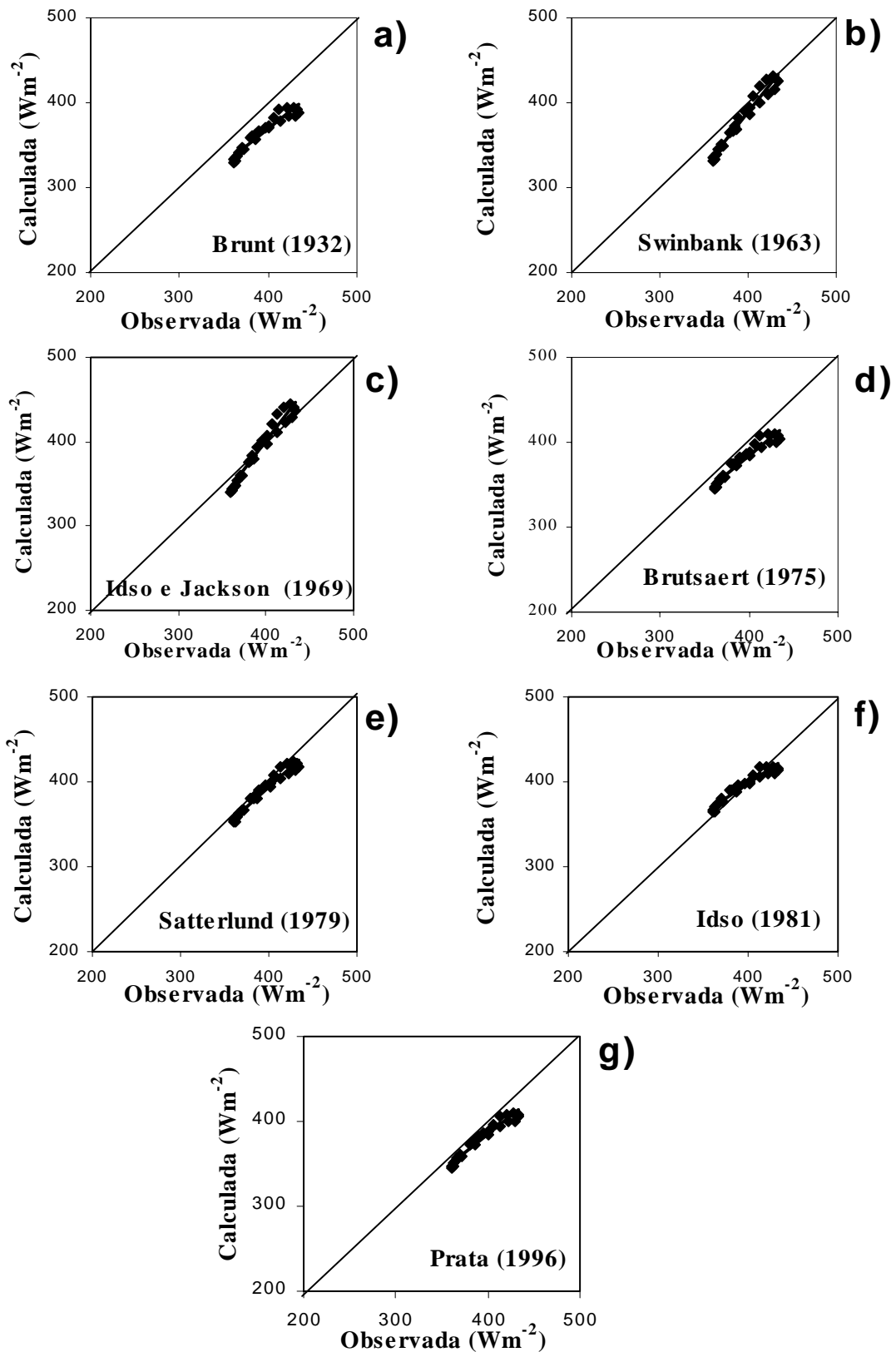
medidos; logo, não devem ser usados para a região do Pantanal sem ajustes, apesar deles gerarem resultados melhores que aqueles obtidos para outras regiões do Brasil (Galvão, 1999; Silva Correia, 2001). Assim sendo, ajustaram-se os modelos às condições locais da região estudada, obtendo-se valores mais realistas, com coeficientes de determinação máximos da ordem de 0,96 para três deles. Não obstante, as parametrizações ajustadas de Brutsaert (1975) e de Prata (1996) devem ser preferencialmente utilizadas, em razão delas terem sido derivadas a partir de uma base física. Além disso, os modelos ajustados devem ser usados com cautela, uma vez que foram obtidos para uma condição específica, isto é, para a região do Pantanal em ano caracterizado pela presença de muitos focos de queimadas nas proximidades do sítio estudado.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem aos colegas Giancarlo Lastoria da UFMS pelo apoio; aos colegas Engenheiros Paulo Rogério de Aquino Arlino e Jorge Martins Nogueira e ao técnico Jorge Mello pela calibração dos instrumentos e coleta de dados. Finalmente, os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelos recursos cedidos (FAPESP - Processo 0098/00105-5).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

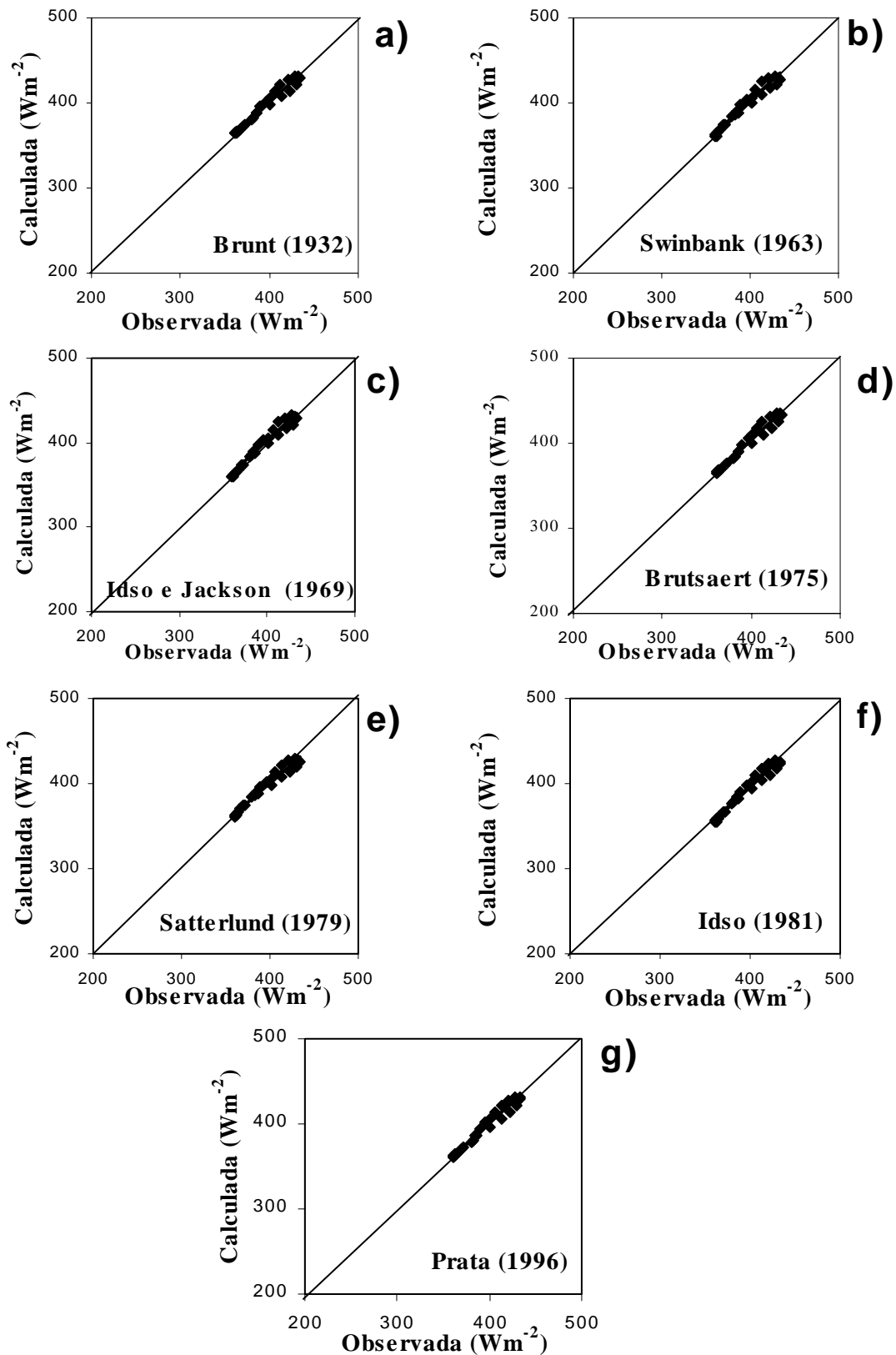
- Alados-Arboledas, L.; Jimenez, J. I. Day-night differences in the effective emissivity from clear skies. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 45, p. 93-101, 1988.
- Alfonsi, R. R.; Paes de Camargo, M. B. Condições climáticas para a região do Pantanal Matogrossense. In: Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal, 1., Corumbá, 1986. **Anais**. EMBRAPA-CPAP, Documentos 5. p 29-42
- Alvalá, P. C.; Kirchhoff, W. J. H. Methane fluxes from the Pantanal floodplain in Brazil: seasonal variation. In: van Ham, J.; Baede, A. P. M.; Meyer, L. A.; Ybema, R. (eds). *Non - CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases: Scientific Understanding, Control and Implementation*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. p. 95-99. 2000
- André, R. G. B.; Silva Filho, V. P.; Molion, L. C. B.; Nobre, C. A. Balanço de radiação sobre a floresta Amazônica (estações seca e úmida). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, n. 2, p. 269 – 274, Dez. 1988.
- Andreae, M. O. In: *Global Biomass Burning, Atmospheric, Climate and Biospheric Applications.*, J. S. Levine d., MIT Press, p.3-21. 1991.
- Ångström, A. A study of the radiation of the atmosphere. **Smithsonian Miscellaneous Collection**, v. 65, p. 1-159. 1918.
- Bastable, H. G.; Shuttleworth, W. J.; Dallarosa, R. L. G.; Fisch, G.; Nobre, C. A. Observations of climate, albedo, and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian forest. **International Journal of Climatology**, v.13, n. 7, p. 783-796, Nov. 1993.
- Brunt, D. Notes on radiation in the atmosphere. **Quarterly Journal Royal 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.
- Brutsaert, W. **Evaporation into the atmosphere: theory, history and applications**. Dordrecht, D. Reidel Publishing Company, 1982. 299p.
- Coutinho, L. M. Fire in the ecology of the brazilian cerrado. In: Goldammer, J. G. ed. *Fire in the tropical biota*, Berlin - Heidelberg: Springer Verlag, 1990, p. 82-105.
- Elsasser, W. M. **Heat transfer by infrared radiation in the atmosphere**. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1942.

- Feitosa, J. R. P. **Balço de energia e evapotranspiração em áreas de pastagem e de floresta densa na Amazônia central.** Campina Grande. 95p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal da Paraíba, 1996.
- Galvão, J. A. C. **Estudo do balanço de radiação em áreas de floresta e pastagem na Amazônia.** São José dos Campos. 125p. (INPE-7236-TDI/689). Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1999.
- Heitor, A.; Biga, A.; Rosa, R. Thermal Radiation Components of the Energy Balance at the Ground. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 54, p. 29-48, 1991.
- Idso, S. B.; Jackson R. D. Thermal Radiation from the Atmosphere. **Journal of Geophysical Research**, v. 74, n. 23, p. 5397-5403, Oct. 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.
- Magalhães, N. W. **Conheça o Pantanal.** São Paulo: Terragraph, 1992, 390p.
- Manzi, A. O.; Viswanadam, Y.; Sá, L. D. A.; André, R. G. B. **Um estudo sobre o balanço de radiação da floresta Amazônica.** São José dos Campos: INPE, 1986. (INPE-3956-PRE/974).
- Prata, A. J. A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 122, p. 1127-1151, 1996.
- Por, F. D. **The Pantanal of Mato Grosso (Brazil).** Dordrecht: K. A. Publishers, 122p., 1995.
- Rao, C. R. Photosynthetically-active components of global solar radiation: measurements and model computation. **Archives Meteorology Geophysical Bioclimatologie, Serie B**, v. 34, p. 353-364, 1984.
- Sánchez, R. O. Las Unidades Geomórficas Del Pantanal y sus connotaciones Biopedo climáticos. **Programa de Desarrollo Regional de La OEA.** Convênio Governo Brasileiro – UND-PEA. S.I. EDIBAP, 31p., 1977.
- Satterlund, D. R. An improved equation for estimating long-wave radiation from the atmosphere. **Water Resources Research**, v. 15, p. 1649-1650, 1979.
- Silva Correira, F. W. **Estudo do Balanço de Radiação em Área de Policultivo na Amazônia.** São José dos Campos. 137 p. (INPE-8176-TDI/758). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.
- Swinbank, W. C. Long-Wave Radiation from clear skies. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 89, n. 381, p. 339-348, July. 1963.
- Tarifa, J. R. Sistema Climático do Pantanal: da compreensão do sistema à definição de propriedades de pesquisa climatológica. In: Ed. Boock, I Simpósio sobre recursos naturais sócio-econômicos do Pantanal, EMBRAPA-CPA, Corumbá, MS, 1986. **Anais**, p. 9-28.
- Valverde, D. Fundamentos geográficos de planejamento rural do Município de Corumbá. **Revista Brasileira Geográfica**, v. 34, n. 1, 1972. p. 49-144.
- Vila da Silva, J. S. e Abdon, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 33. n. especial, p. 1703-1711, Out. 1998.
- Viswanadham, Y.; Molion, L. C. B.; Manzi, A. O.; Sá, L. D. A.; Silva Filho, V. P; André, R. G. B.; Nogueira, J. L. M; Santos, R. C. Micrometeorological measurements in Amazon forest during GTE/ABLE 2A Mission. **Journal of Geophysical Research**, v. 95, n. D9, p. 13669-13682, Aug. 1990.

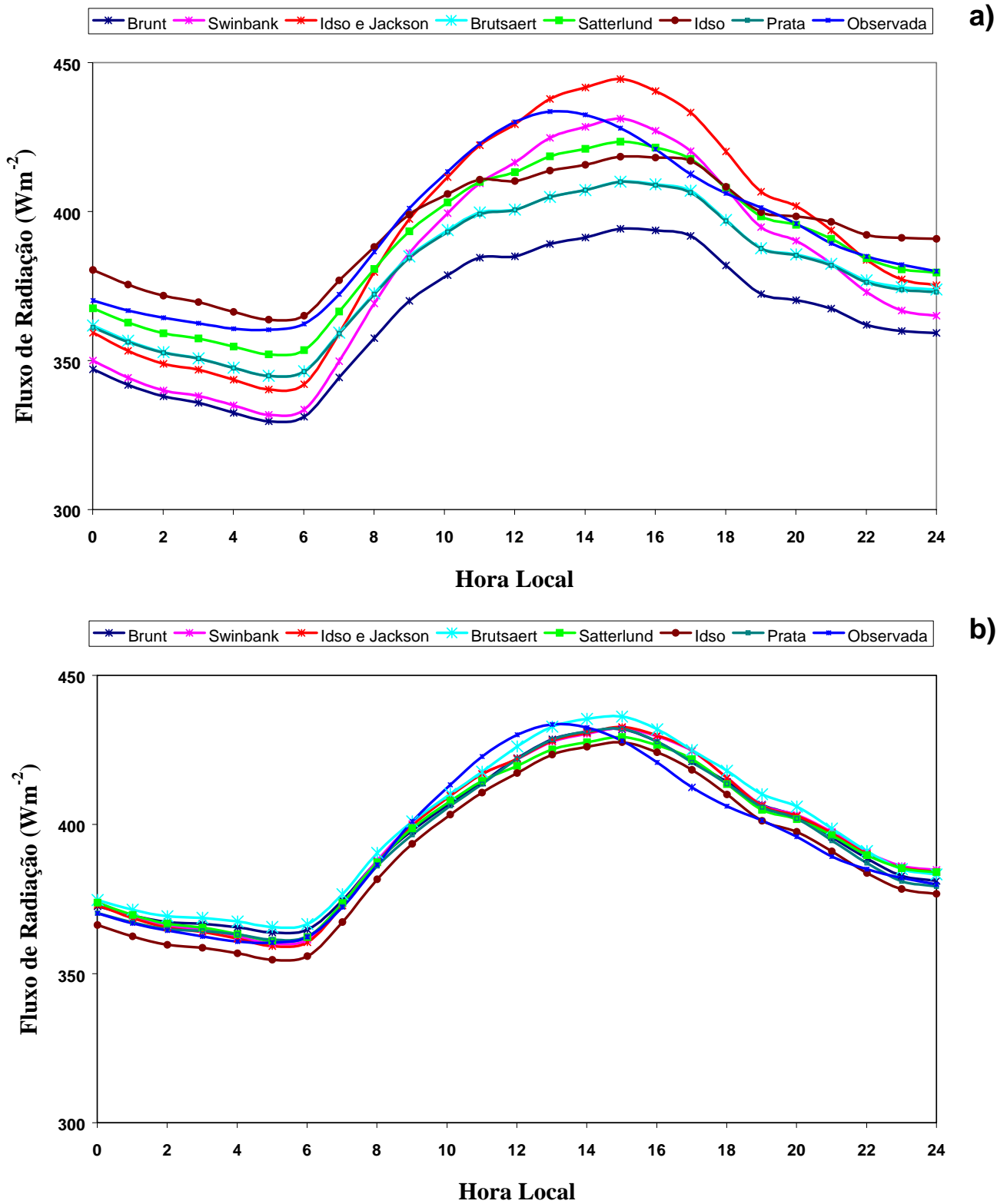


**Figura 1** – Comparação entre os valores medidos de  $L_{\downarrow}$  em 1999 e os valores estimados pelos modelos de (a) Brunt, (b) Swinbank, (c) Idso e Jackson, (d) Brutsaert, (e) Satterlund, (f) Idso e (g) Prata.





**Figura 2** – Comparação entre os valores medidos de  $L_{\downarrow}$  em 1999 e os valores estimados pelos modelos ajustados de (a) Brunt, (b) Swinbank, (c) Idso e Jackson, (d) Brutsaert, (e) Satterlund, (f) Idso e (g) Prata usando dados de 1999.



**Figura 3** – Variação média horária da radiação de onda longa atmosférica medida (observada) e calculada (a) pelas parametrizações propostas na literatura e (b) pelas parametrizações ajustadas à condição do Pantanal Sul Matogrossense.