



90
AÑOS
PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

Federación
Iberoamericana
de Ingeniería
Mecánica



8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA Cusco, 23 al 25 de Octubre de 2007

EVOLUÇÃO DIURNA DO BALANÇO DE RADIAÇÃO NA SUPERFÍCIE DA CIDADE DE SÃO PAULO, BRASIL.

Ferreira, M.J., Oliveira, A.P., Soares, J., Bárbaro E.W., Codato, G., Marciotto, E.R. e Silva, M.

Grupo de Micrometeorologia, Departamento de Ciência Atmosférica,
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosférica,
Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
mjferreira@model.iag.usp.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo descrever a evolução temporal das componentes do balanço de radiação na superfície da região metropolitana da cidade de São Paulo durante o ano de 2004. E avaliar a possibilidade de utilizar estimativas de satélite para representar os padrões espaciais das componentes do balanço de radiação na superfície da região metropolitana da cidade de São Paulo.

As observações na plataforma micrometeorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas são comparadas com estimativas de radiação solar global, onda longa da atmosfera e onda longa emitida pela superfície do Projeto SRB.

A excelente concordância entre os valores médios mensais de radiação solar global e de onda longa emitida pela atmosfera, observados e estimados pelo satélite indica que este último pode ser considerado como representativo de toda região metropolitana da cidade de São Paulo.

A evolução diurna dos valores médios mensais de radiação solar incidente e refletida pela superfície indica que o albedo da região da cidade de São Paulo varia de 0,10 a 0,12 durante o ano.

A evolução diurna dos valores médios mensais de radiação de onda longa emitida pela atmosfera e pela superfície indica que a emissividade média da região urbana de São Paulo é da ordem de 0,96 e a emissividade da atmosfera é da ordem de 0,82 estando compatíveis com as estimativas de satélite.

A evolução diurna dos valores médios mensais de radiação líquida indicam que a nebulosidade reduz a amplitude da radiação líquida, principalmente durante o período noturno nos meses de verão na cidade de São Paulo.

PALAVRAS CHAVE: Balanço de Radiação; São Paulo; Radiação solar global, Radiação de onda longa.

INTRODUÇÃO

Até o ano 2000 em torno 45% da população mundial viveu em áreas urbanas, sendo que 75% desse total somente nos países mais desenvolvidos. Para 2007 as projeções indicam que a metade da população mundial estará morando nas cidades e expostas ao ambiente urbano (Arnfield, 2003).

A estrutura do ambiente urbano absorve e emite uma quantidade maior de energia em relação a áreas rurais pelo fato de que os materiais típicos de uma superfície urbana apresentam em média albedo menor, capacidade térmica menor e condutividade de calor maior (Landsberg, 1981).

A formação de ilhas de calor e o déficit de umidade são algumas das anomalias encontradas em áreas urbanas e a causa direta destes fenômenos está relacionada aos processos de troca de energia, mais especificamente as componentes do balanço de radiação (White *et al.*, 1978).

Dos parâmetros climáticos que sofrem influência da urbanização, provavelmente a precipitação é a mais discutida, embora vários estudos tenham mostrado que as chuvas são favoravelmente afetadas pela urbanização e que, em grandes cidades e em algumas de porte médio chove cerca de 5 a 10% a mais do que em áreas rurais (Cabral *et al.*, 2000). Tal diferença pode ser explicada basicamente por dois fatores: A presença da ilha de calor, que propicia aumento da convecção, favorecendo a formação de nuvens e aumentando de forma sistemática a precipitação; A intensificação da convergência do vento horizontal em baixos níveis associada ao contraste horizontal entre a rugosidade rural e urbana. Esta área de convergência forma-se a montante da região central da mancha urbana, intensificando os movimentos ascendentes e a formação de nuvens e, conseqüentemente, a precipitação (Oliveira *et al.*, 2003);

O resfriamento radiativo induzido pelos aerossóis presentes em maior concentração na atmosfera urbana (efeito direto). Neste caso o espalhamento da radiação, onde parte maior da energia radiante é refletida de volta para o espaço ou absorvida seletivamente particulados em suspensão na atmosfera urbana, induzindo um resfriamento do sistema atmosfera-superfície

O resfriamento do sistema atmosfera-superfície causado pelo aumento do albedo é conhecido por efeito indireto dos aerossóis. Neste caso, a maior concentração de aerossóis na atmosfera urbana, causa um aumento no número de núcleos de condensação e favorece a formação de nuvens, que por sua vez aumentam o albedo, induzindo a um resfriamento do sistema atmosfera-superfície maior nas regiões urbanas. O efeito indireto só acontece quando os aerossóis atuam como núcleos de condensação ativos, provocando alterações nas propriedades físicas das nuvens, tais como a distribuição do tamanho das gotas (Kaufman *et al.*, 1998).

Os estudos iniciados por Oke (1974) verificaram que a radiação líquida na superfície urbana tende a variar pouco em relação a uma área rural. As razões são as seguintes: O decréscimo na $SW\downarrow$ é parcialmente compensado pelo albedo reduzido da superfície urbana, implicando em $SW\uparrow$ menor. A $LW\downarrow$ tende a aumentar com o aumento da emissividade atmosférica e a $LW\uparrow$ aumenta provocado pelo aumento da temperatura de superfície (Arnfield, 2003).

Em Vancouver, Canadá, Schmid *et al.* (1991) verificou que o comportamento da radiação líquida numa escala de comprimento horizontal maior (urbano-rural) foi bastante conservador e apresentou pouca variabilidade espacial diante da análise das temperaturas e albedo de superfície.

No entanto as generalizações acima não são válidas para todas as investigações, porque a radiação líquida pode apresentar mudanças importantes nas observações. Por exemplo, Grimmond *et al.* (1996) em estudo de campo na cidade de Los Angeles, em dois locais distintos onde um era formado por 30% de cobertura vegetal, enquanto que o outro com apenas 10% de cobertura vegetal mostrou que a combinação de albedos mais baixos e temperaturas de superfície menores resultam na perda reduzida da $SW\downarrow$ e da $LW\uparrow$ e o resultado foi o aumento em torno de 19% na radiação líquida no local com 30% de cobertura vegetal em relação ao local com somente 10% de cobertura vegetal ao longo do dia. No período noturno a radiação líquida foi similar em ambos os locais.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é investigar as componentes do balanço de radiação na superfície da região metropolitana da cidade de São Paulo (RMSP) para o ano de 2004, considerando os aspectos horários e mensais relacionados à transferência de energia radiante na atmosfera.

A investigação será feita através de observações diretas em um ponto da superfície da cidade utilizando 1 ano de informações do conjunto inédito e completo de dados (13 anos de radiação global; 10 anos de radiação de

onda longa atmosférica e 4 anos de radiação emitida pela superfície) da plataforma micrometeorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas- IAG/USP e a partir de agora será citada como CUASO, e posteriormente o estudo será estendido para toda região metropolitana da cidade de São Paulo (RMSP) através do emprego de um conjunto com 22 anos de dados de satélites do projeto SRB do ASDC-NASA (Atmospheric Science Data Center) para verificar se as componentes do balanço de radiação em um ponto da superfície é representativo para uma área com a extensão da RMSP (Oliveira and Soares, 2004).

BALANÇO DE RADIAÇÃO EM SUPERFÍCIES URBANAS

O balanço de radiação em uma determinada superfície é o resultado da soma de toda energia radiante recebida e perdida pela superfície indicada pela equação (1) descrita abaixo:

$$Q^* = SW\downarrow + SW\uparrow + LW\downarrow + LW\uparrow \quad (1)$$

Q^* é a Radiação Líquida; $SW\downarrow$ é radiação solar global; $SW\uparrow$ é a radiação solar refletida pela superfície; $LW\downarrow$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera; $LW\uparrow$ é a radiação de onda longa emitida pela superfície. O balanço de radiação para uma determinada superfície corresponde à soma de toda energia radiante recebida e perdida, no entanto, depende de fatores químicos e físicos associados ao sistema superfície-atmosfera como: elementos de rugosidade, albedo de superfície, capacidade térmica, condutividade térmica, emissividade da superfície e da atmosfera e transmissividade atmosférica (Oke, 1982; Landsberg, 1981).

Alguns aspectos dos efeitos da urbanização no clima foram estudados por Adebayo (1990) que examinou como a poluição atmosférica, a introdução de novos materiais e as modificações nas características do vento alteram o balanço de radiação na superfície (radiação global, albedo de superfície e radiação líquida) de uma região urbana e rural da cidade de Ibadan na Nigéria. As investigações durante as estações seca e úmida mostraram que em Ibadan na Nigéria a radiação solar global e o albedo da superfície foram reduzidos em média entre 9-15% e 12-20% respectivamente, enquanto que a radiação líquida aumentou em torno de 8-20%. Assim, todos estes estudos confirmam que existe uma diferença significativa na radiação líquida entre uma região urbana e a rural. Em geral, a região urbana apresenta valores de radiação global na superfície sistematicamente menor, albedo de superfície menor e radiação líquida maior. Este efeito é mais pronunciado na estação seca.

As investigações indicam que sobre áreas urbanas, entre todas as componentes da equação do balanço de radiação, ocorre maior atenuação da radiação global na superfície. Esta maior atenuação é em parte resultado do aumento da concentração de poluentes na atmosfera (Peterson e Flowers, 1977). Vários estudos mostram que a $SW\downarrow$ apresenta valores médios menores, em áreas urbanas em relação às áreas rurais circunvizinhas. Peterson e Stoffel (1980) encontraram uma redução média de 3% na $SW\downarrow$ na região central de St. Louis para todos os comprimentos de onda. No inverno a diferença aumenta para 4%, enquanto que no verão reduz a 2% entre uma área urbana e rural. Estournel *et al.* (1983) encontraram uma redução de 3,5% em média na componente direta na região urbana com um apreciável aumento da componente difusa em Toulouse, França. Jáuregui e Luyando (1999) observaram que a Cidade do México recebe em média entre 21-22% a menos de $SW\downarrow$ em relação aos arredores rurais durante as estações seca e chuvosa.

Estes resultados indicam que a redução nas regiões urbanas em relação as rurais circunvizinhas é causada pela:

a) Presença de gases e aerossóis em concentrações maiores na atmosfera cuja origem principal está relacionada ao tráfego de veículos e outras emissões urbanas.

b) Variação sazonal do conteúdo de vapor de água presente na atmosfera entre a estação seca e a chuvosa. Os aerossóis presentes na baixa atmosfera são responsáveis por mudanças apreciáveis nas componentes direta e difusa da $SW\downarrow$. Segundo Oliveira *et al.* (1996) na cidade de São Paulo foi observada uma redução de até 18% na transmitância atmosférica para a radiação solar direta num período de 5 dias após o evento da passagem de uma frente fria em decorrência do aumento na concentração de gases e particulados em suspensão na atmosfera. Considerando somente os dias sem nebulosidade durante um período contínuo de 5 anos Oliveira *et al.*, (2002a) observaram que a redução nos valores horários e diários da componente direta de $SW\downarrow$ ocorre simultaneamente a um aumento nos valores horários e diários da componente difusa de $SW\downarrow$ na superfície em São Paulo. Tanto a redução da componente direta quanto o aumento da componente difusa estão correlacionadas com aumento nos valores horários e diários de material particulado em São Paulo.

O albedo de superfície foi investigado por Brest (1987) utilizando observações de satélites da série Landsat (bandas 4-visível e 7-infravermelho próximo) de 1972 a 1978 (Hartford, Conn.) em 42 locais apropriados para verificar a variabilidade espacial e sazonal do albedo em diversas categorias de superfícies urbana e rural.

Os resultados mostram a diversidade do albedo associado com duas características que parecem ser mais importantes na sua determinação:

a) presença ou ausência da vegetação;

b) estrutura do dossel urbano tais como tipo de material e geometria.

A presença de vegetação, que em geral apresenta em média valores de albedo alto, intensifica o valor do albedo nas regiões urbanas. A estrutura do dossel urbana causa variabilidades significativas na evolução tanto temporal quanto espacial do albedo da superfície.

A temperatura, a o grau de obstrução do céu, a altitude e a umidade são fatores que determinam a intensidade da $LW\downarrow$ no dossel urbano. Observações realizadas por Jonsson *et al.* (2006) em três cidades localizadas na região tropical do continente Africano: Dar es Salaan, Gaborone e Ouagadougou, indicam que na cidade mais próxima à linha do equador (Dar es Salaan) os valores de $LW\downarrow$ são mais elevados. Este efeito pode ser atribuído às altas temperaturas e a elevada umidade relativa do ar em Dar es Sallan. Em Gaborone, localizada a 100 Km do Trópico de Capricórnio e a aproximadamente 1000m de altitude, são encontrados os valores mais baixos de $LW\downarrow$. Neste caso, a diminuição da $LW\downarrow$ é causada pela altitude maior de Gaborone, tendo em vista que a temperatura e umidade do ar diminuem com a altitude. Deve ser ressaltado que as outras duas cidades Dar es Salaan encontra-se ao nível do mar e Ougadougou esta localizada a aproximadamente 300 m acima do nível do mar. Ouagadougou, localizada a cerca de 1350 Km da linha do equador, apresentou $LW\downarrow$ entre os valores encontrados nas outras duas cidades africanas, apesar desta cidade apresentar uma carga maior de material particulado em suspensão na atmosfera e valores mais baixos de umidade relativa do ar.

A presença de aerossol na atmosfera altera a $LW\downarrow$ no intervalo espectral de 8-13 μ m (janela atmosférica). Por exemplo, Dalrymple and Unsworth (1978) encontraram um incremento na emissividade da atmosfera de até 0,12 para a cidade de Sutton Bonington. O resultado foi correlacionado com a espessura ótica da atmosfera e apontou o aumento no fluxo de radiação de onda longa descendente na superfície ao longo do dia, atingindo o valor máximo ao meio dia em até 40W.m⁻². Em áreas urbanas, $LW\downarrow$ é maior em função do contraste térmico urbano-rural, onde a temperatura da atmosfera urbana é superior em alguns graus a temperatura da atmosfera nas regiões rurais circunvizinhas, devido à presença da ilha de calor urbana. Outro fator de menor intensidade é a variação espacial entre as concentrações de material particulado e gases poluentes em suspensão na atmosfera urbana e a rural. Estas variações espaciais alteram a emissividade da atmosfera, contribuindo fracamente com as emissões atmosféricas de radiação de onda longa (Fortuniak *et al.* 2006; Arnfield, 2003; Oke, 1982).

CARACTERIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO CLIMA DA REGIÃO METROPOLITANA DA CIDADE DE SÃO PAULO

Em São Paulo, os dados da radiação solar global, onda longa emitida pela atmosfera e onda longa emitida pela superfície é coletada na plataforma micrometeorológica do IAG-USP localizada no campus da USP da zona oeste da cidade de São Paulo (23°33' S, 46°37' W) a 744 m de altitude. A região metropolitana da cidade de São Paulo (RMSP), localizada a uma distância média de 60 Km do Oceano Atlântico, corresponde a um conjunto de 39 municípios, transformando-se no maior parque industrial da América Latina com uma superfície de aproximadamente 8000 Km² e mais de 17 milhões de habitantes (Andrade *et al.*, 1994). A RMSP nas últimas décadas apresentou forte desenvolvimento na indústria e no comércio, resultando no crescimento desordenado da região, que sofre com os problemas crônicos de poluição provocados por uma frota com mais de 7,3 milhões de veículos e um parque industrial de mais de 30 mil indústrias espalhadas por toda a RMSP (CETESB, 2006).

O clima na cidade de São Paulo segundo Oliveira *et al.* (2002a) é típico das regiões subtropicais do Brasil caracterizadas por um inverno seco no período de julho a setembro e o verão úmido de dezembro a março. Os valores mínimos da temperatura e umidade relativa média diária mensal ocorrem em julho e agosto (16°C e 74% respectivamente) e a precipitação acumulada mínima ocorre em agosto (30mm). O valor máximo da média diária mensal da temperatura é registrado para o mês de fevereiro (22,5°C). A precipitação acumulada mensal máxima ocorre em fevereiro (255mm) enquanto que a umidade relativa máxima (80%) é observada em dois períodos distintos que corresponde dezembro-janeiro e março-abril. O regime de ventos na cidade de São Paulo é determinado por ventos de Nordeste no período noturno e da manhã, associados escoamento de

grande escala, e por ventos de Sudeste na parte da tarde e início da noite, associados à brisa marítima que penetra na RMSP sistematicamente.

INSTRUMENTAÇÃO E ESTIMATIVAS COM SATÉLITES

As medidas da radiação de onda curta e onda longa na superfície da cidade de São Paulo são realizadas continuamente na Plataforma Micrometeorológica do IAG-USP, com piranômetro (Eppley), modelo PBW, pirgeômetro (Eppley) modelo PIRGE e o radiômetro líquido CNR1 (Kipp-Zonen) com dois sensores modelo CM3 (radiação solar incidente e refletida) e dois sensores modelo CG3 (radiação de onda longa emitida pela atmosfera e a emitida pela superfície). As observações são realizadas com frequência de amostragem de 0.5 Hz e valores com médias de 5 minutos são armazenados no sistema de aquisição de dados datalogger, modelo 21X (Campbel).

O banco de dados do projeto SRB é derivado de informações do perfil da atmosfera e propriedades da superfície juntamente com dados de satélites para entrada dos modelos de transferência radiativa de onda curta e longa para estimar vários parâmetros da atmosfera e da superfície com resolução espacial de 1 grau de latitude por 1 grau de longitude (Stackhouse *et al.*, 2000; Gupta *et al.*, 1999; Pinker e Laszlo, 1992). Uma descrição do conjunto completo dos dados de radiação de onda curta e longa do projeto SRB do ASDC-NASA. Os valores horários, diários e mensais de radiação solar global (incidente e refletida) e de radiação de onda longa (emissão da atmosfera e superfície) no nível da superfície do projeto SRB para a cidade de São Paulo-Brasil estão disponíveis através de transferência *on-line* a partir do ano 1983 em <http://eosweb.larc.nasa.gov/HPDOCS>.

RESULTADOS

O objetivo deste trabalho é descrever a evolução sazonal das componentes do balanço de radiação na superfície da RMSP considerando as observações realizadas durante o ano de 2004.

As observações (fig. 1a) mostram a evolução média mensal da $SW\downarrow$ apresenta valores maiores no período chuvoso e menor no período seco, o comportamento em parte pode ser atribuído à duração do dia, a evolução da cobertura de nuvens e ao aumento da poluição atmosférica.

A (fig 1b) também mostra o comportamento do albedo médio mensal de superfície no RMSP estimado através do projeto SRB ao longo do ano e os resultados indicam o valor mínimo ($\sim 0,10$) no mês de fevereiro (período chuvoso) e máximo ($\sim 0,12$) em setembro (período seco) para o ano de 2004 com uma máxima diferença média mensal em torno de 15-17% entre o período chuvoso e seco.

Os valores reduzidos do albedo de superfície são típicos para uma região urbana e estão listados na literatura e são fortemente associadas aos diferentes tipos de materiais, configurações geométricas do dossel urbano.

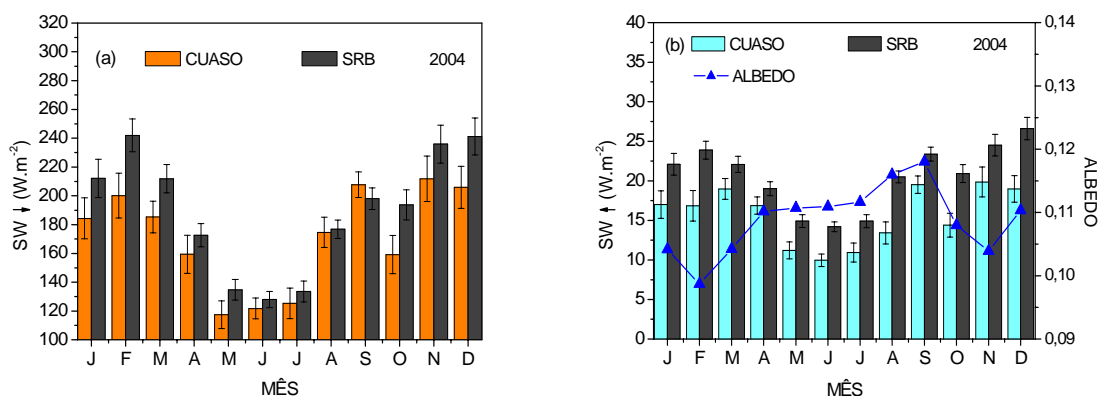


Figura 1- Evolução sazonal da radiação solar global média mensal (a) incidente na superfície da plataforma micrometeorológica do IAG-USP (CUASO) e estimada através de satélite (SRB); (b) refletida pela superfície. O albedo médio mensal da superfície em 2004.

O comportamento médio mensal das componentes da radiação terrestre $LW\downarrow$ e $LW\uparrow$, estimados através do satélite para o ano de 2004 apresentam uma excelente concordância com os valores médios mensais de $LW\downarrow$ e $LW\uparrow$ observados na plataforma micrometeorológica durante 10 anos (Fig. 2a e 2b).

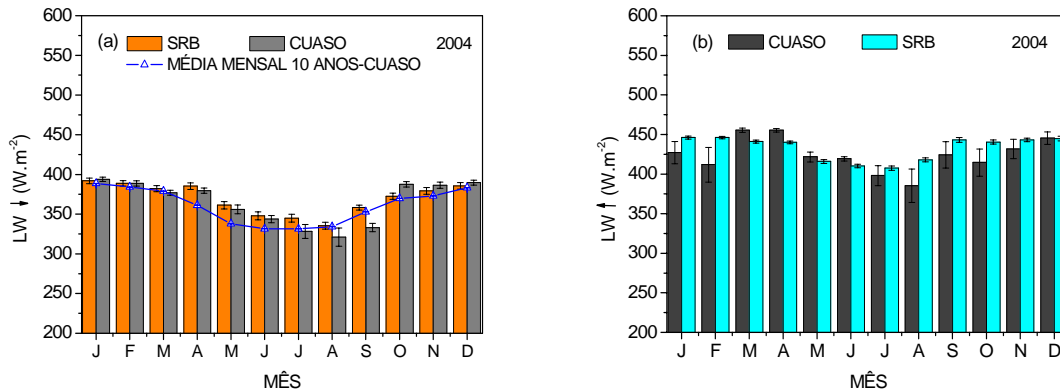


Figura 2-- Evolução sazonal da radiação de onda longa média mensal (a) emitida pela atmosfera (b) emitida pela superfície na RMSP. Observações na plataforma micrometeorológica do IAG-USP (CUASO) e estimada através de satélite (SRB).

Emissividade média mensal da atmosfera foi de 0,82 e a emissividade média mensal da superfície foi 0,96 estimada a partir das observações e estimativa de satélite para o ano de 2004.

A radiação de onda longa emitida pela atmosfera para o mês de julho apresentou uma pequena redução média em relação ao mês de janeiro este resultado pode estar associado à temperatura do ar, a umidade relativa e a concentração de poluentes. A componente da radiação de onda longa emitida pela superfície também apresentou redução para o mês de julho em relação a janeiro provocado possivelmente pela queda na temperatura de superfície.

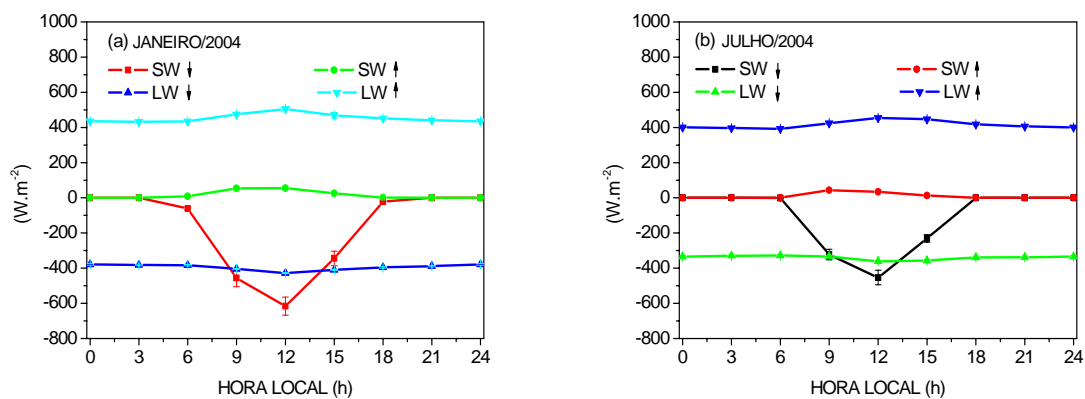


Figura 3. Evolução diurna das componentes do balanço de radiação na superfície média mensal observada na plataforma micrometeorológica do IAG-USP nos meses de (a) janeiro e (b) julho de 2004.

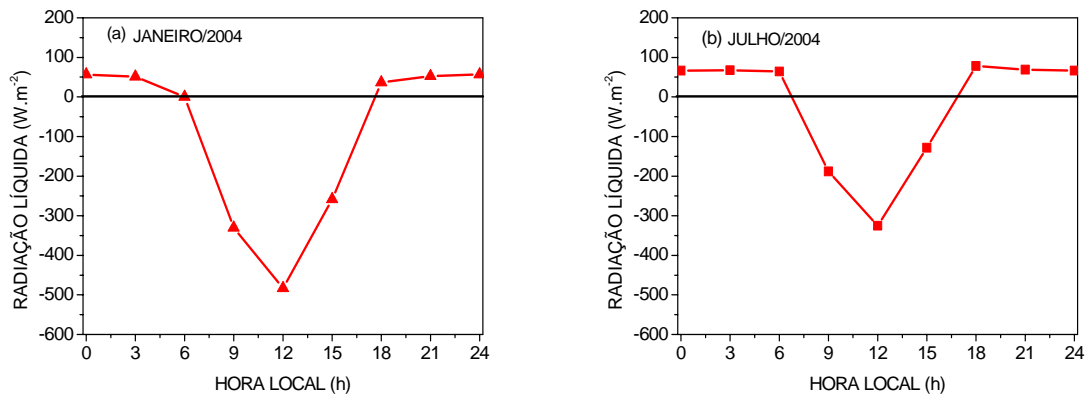


Figura 4. Evolução diurna da radiação líquida média mensal observada na plataforma micrometeorológica nos meses (a) janeiro e (b) julho de 2004.

Na figura 4a e 4b são apresentados o balanço de radiação na superfície da RMSP para os meses de janeiro e julho de 2004 e os resultados apontam que a radiação líquida apresenta em média durante o dia valor maior e a noite valor menor para o mês de janeiro.

CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi determinar a evolução temporal (médias mensais e horárias) das componentes do balanço de radiação na superfície da região metropolitana de São Paulo (RMSP) para o ano de 2004.

Foram utilizadas observações de radiação solar global incidente, radiação solar refletida pela superfície, radiação de onda longa emitida pela atmosfera e radiação de onda longa emitida pela superfície, realizadas no CUASO e estimadas através de dados de satélites geradas pelo projeto SRB e coletadas durante 1 ano (2004).

Os resultados indicam que as observações na superfície Plataforma Micrometeorológica do IAG-USP (CUASO) apresentam uma excelente concordância com as estimativas realizadas através de satélite para:

- a) Radiação solar global incidente e refletida pela superfície;
- b) Radiação de onda longa da atmosfera;
- c) Radiação de onda longa emitida pela superfície

Pode-se concluir que para o ano de 2004 os valores médios mensais da radiação solar global incidente e refletida na superfície, radiação de onda longa emitida pela atmosfera e a radiação emitida pela superfície obtidos na Plataforma Micrometeorológica do IAG USP são representativos de toda RMSP.

O ciclo diurno da radiação líquida, determinada a partir de dados da Plataforma Micrometeorológica do IAG-USP (CUASO), apresenta uma variação sazonal com amplitude máxima no verão ($\sim 550 \text{ Wm}^{-2}$ no mês de janeiro) e um mínimo no inverno ($\sim 380 \text{ Wm}^{-2}$ no mês de julho). A variação sazonal da nebulosidade contribui significativamente para a redução da amplitude da radiação líquida, principalmente durante o período noturno nos meses de verão RMSP.

A evolução diurna dos valores médios mensais de radiação solar incidente e refletida pela superfície estimada a partir dos dados de satélite indicam que o albedo médio mensal da RMSP varia entre 0,10 e 0,12 ao longo do ano.

A evolução diurna dos valores médios mensais de radiação de onda longa emitida pela atmosfera e pela superfície, observados na plataforma micrometeorológica do IAG USP, indica que a emissividade média no CUASO é da ordem de 0,96 para a superfície e 0,82 para atmosfera. A compatibilidade entre as estimativas de satélite e observações no CUASO permite concluir que estes valores podem ser utilizados como representativos da emissividade da superfície e da atmosfera da RMSP.

BIBLIOGRAFIA

Adebayo Y.R.: Aspects of the variation in some characteristics of radiation budget within the urban canopy of Ibadan. *Atmospheric Environment B* **24**: 9–17, 1990.

- Andrade, M.F., Orsini, C., Maenhaut, W.: Relation between aerosol sources and meteorological parameters for inhalable atmospheric particles in São Paulo city, Brazil. *Atmospheric Environment* **28** (14), 2307–2315, 1994.
- Arnfield A.J.: Two Decades Of Urban Climate Research: A Review Of Turbulence, Exchanges Of Energy and Water, and the Urban Heat Island. *Int. J. Climatol.* **23**: 1–26, 2003.
- Brest C.L. Seasonal albedo of an urban/rural landscape from satellite observations. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **26**, 1169–1187, 1987.
- Cabral E., Funari F.L., Salum S. T.: Análise da Variação da Precipitação Diária no Município de São Paulo Segundo os Dias da Semana (1933-1999). Artigo online Vento Noroeste-Processamento de Dados Ambientais. <http://orbital.starmedia.com/~ventonw/artigo01.htm>, 2000.
- CETESB: Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2006. Report CETESB, São Paulo, in Portuguese. Available at www.cetesb.sp.gov.br, 2006.
- Dalrymple G.J., Unsworth M.H.: Longwave radiation at the ground: IV. Comparison of measurements and calculation of radiation from cloudless skies. *Quart J Roy Meteor Soc* **104**, 989–997, 1978.
- Estournel C, Vehil R, Guedalia D, Fontan J, Druilhet A.: Observations and modeling of downward radiative fluxes (solar and infrared) in urban/rural areas. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **22**, 134–142, 1983.
- Fortuniak K., Klysiak K., Wibig J.: Urban–rural Contrasts of Meteorological Parameters in Łódź. *Theor. Appl. Climatol.*, **84**, 91–101, 2006.
- Grimmond CSB, Souch C, Hubble MD.: Influence of tree cover on summertime surface energy balance fluxes, San Gabriel Valley, Los Angeles. *Climate Research*. **6**: 45-57, 1996.
- Gupta, S. K, N. A. Ritchey, A. C. Wilber, C. H. Whitlock, G. G. Gibson, and P. W. Stackhouse Jr.: A Climatology of Surface Radiation Budget Derived From Satellite Data. *J. Climate.*, **12** (8), 2691-2710, 1999.
- Jáuregui E, Luyando E.: Global radiation attenuation by air pollution and its effects on the thermal climate in Mexico City. *International Journal of Climatology*, **19**, 683–694, 1999.
- Jonsson P., Eliasson I, Holmer B., Grimmond C.S.B.: Longwave Incoming Radiation in the Tropics: results from field work in three African cities. *Theor. Appl. Climatol.*, **85**, 185–201, 2006.
- Kaufman, Y. J., Hobbs, P.V., Kirchhoff, V.W.J.H., Artaxo, P. Remer, L. A., Holben, B. N., King, M.D. Ward D.E., Prins, E.M., Longo, K.M., Mattos, L.F., Nobre, C.A., Spinhirne, J.D., Ji, Q., Thompson, A.M., Gleason, J.F., Christopher, S.A. & Tsay, S.C.: Smoke, Clouds and Radiation-Brazil (SCAR-B) Experiment, *Journal of Geophysical Research*, **103**, 31783 – 31808, 1998.
- Landsberg, H. E.: *The Urban Climate*, Academic Press, New York-NY, 271 p. 1981.
- Oke TR.: *Review of Urban Climatology, 1968–1973*. WMO Technical Note No. 134, WMO No. 383. World Meteorological Organization: Geneva, 1974.
- Oke, T.R.: The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **108**, 1-24, 1982.
- Oliveira, A. P., Escobedo, J. F., Plana-Fatori, A., Soares, J., Santos, P. M.: Medidas da Radiação Solar na Cidade de São Paulo: Calibração de Piranômetros e Aplicações Meteorológicas. *Revista Brasileira de Geofísica*, **14**, 203-216, 1996.
- Oliveira, A. P., Escobedo, J. F., Machado, A. J. And Soares, J.: Diurnal evolution of solar radiation at the surface in the City of São Paulo: seasonal variation and modeling. *Theoretical and Applied Climatology*, **71**, 231-249, 2002a.
- Oliveira, A. P., Bornstein, R., And Soares, J.: Annual and diurnal wind patterns in the city of São Paulo. *Water, Air and Soil Pollution: FOCUS*, **3**, 3-15, 2003.
- Oliveira, A. P. & Soares, J.: Seasonal Evolution of the Surface Radiation Balance in the City of São Paulo. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza – CE (CDROM), 2004.
- Peterson, J.T. and Flowers E.C.: Interactions Between Air Pollution and Solar Radiation. *Solar Energy*, **19**, 23-32, 1977.
- Peterson, J.T. and Stoffel T.L.: Analysis of Urban-Rural Solar Radiation Data from St. Louis, Missouri. *J. Appl. Meteor.* **19**: 275-283, 1980.
- Pinker, R. and Laszlo, I.: Modeling of surface solar irradiance for satellite applications on a global scale. *J. Appl. Meteor.*, **31**, 194-211, 1992.
- Schmid HP, Cleugh HA, Grimmond CSB, Oke TR.: Spatial variability of energy fluxes in suburban terrain. *Boundary-Layer Meteorology*, **54**, 249–276, 1991.

Stackhouse, P.W.JR., Gupta S.K., Cox S.J., Chiacchio M., and Mikovitz J.C.: The Wcrp/Gewex Surface Radiation Budget Project Release 2: An Assessment Of Surface Fluxes At 1 Degree Resolution. *NASA Langley Technical Report Server*, 2000.

White J.M., Eaton F.D. and Auer, A.H.: The Net Radiation Budget of the St. Louis Metropolitan Area. *J. Appl. Meteor.*, **17**, 593-599, 1978.