

Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

ANÁLISE DA TAXA DE EVAPORAÇÃO D'ÁGUA EM TANQUES "CLASSE A" - UM ESTUDO DE CASO NO CONTEXTO DAS METRÓPOLES DO SUDESTE BRASILEIRO

Bruno César dos Santos^(a), Luís Alberto Castaneda Resende^(b) Paulo Henrique de Souza^(C)

Eixo: 3 CLIMATOLOGIA EM DIFERENTES NÍVEIS ESCALARES: MUDANÇAS E VARIABILIDADES

Resumo/

A diminuição dos fótons que incidem sobre a superfície da Terra por ação da poluição constitui-se num dos poucos eventos ainda carente de estudos apesar das implicações que possui, para o ciclo hidrológico ao impactar sobre a taxa de evaporação de água, repercutindo sobre o volume de precipitação. Em razão disto, algumas análises dos dados diários obtidos nos últimos anos em tanques de evaporação "classe A" de algumas localidades situadas nas imediações das três maiores capitais da Região Sudeste foram feitas com o intuito de aferir qualquer alteração nos últimos anos, estabelecendo sua correlação com o fenômeno mencionado. Devido a concentração de partículas e poluentes na atmosfera, esperava-se que os dados apontassem para uma diminuição da água evaporada no período de 1999 até 2011, entretanto, os mesmos não denunciaram tal tendência, sinalizando que a configuração do padrão atmosférico da América do Sul pode ter interferido favorecendo a dispersão de poluentes.

Palavras chave: Análise Rítmica. Precipitação. Evaporação. Atmosfera. Temperatura

1. Introdução/Apresentação do Tema

O climatologista norte-americano David Travis foi um dos primeiros pesquisadores a considerar todos os aspectos da queima de combustíveis fósseis, analisando as possíveis interferências causadas à atmosfera terrestre pelas trilhas de condensação das aeronaves. Depois do fatídico dia 11 de setembro de 2001 pode verificar diretamente esse tipo de situação em razão do fechamento dos aeroportos dos Estados Unidos. Nessa ocasião, apesar de a temperatura média variar muito pouco de um dia para o outro devido a presença de uma massa de ar estacionária em grande parte da América do Norte, foi possível observar uma significativa alteração na temperatura. Conforme a Tabela 1 indica, toda a oscilação que a temperatura sofreu nos Estados Unidos em razão da suspensão e normalização dos voos e a ausência ou presença de trilhas de condensação no céu. Obviamente, esse comportamento da temperatura estava relacionado com a alteração ocorrida na atmosfera, ou melhor, com a ação das trilhas de condensação ocasionadas pelas aeronaves, pois, esse foi o único elemento que sofreu alteração no referido período.

⁽a) PPG-SEA, CRHEA/SHS, EESC/USP, bruno-unifal@hotmail.com

⁽b) ICN, UNIFAL-MG, castaneda.unifal@gmail.com

⁽c) ICN, UNIFAL-MG, phsouza31@hotmail.com



Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

Parece que essa tem sido uma tendência em toda a atmosfera do planeta, pois, ao revisar os estudos que havia feito sobre a taxa de irradiação solar que alcançava o solo israelense para identificar a quantidade exata de água necessária para a agricultura do país, o biólogo Gerald Stanhill descobriu em 1980 que os parâmetros estabelecidos no passado não eram mais válidos, posto que os dados colhidos acusavam uma redução da ordem de 22% na região entre o período entre 1950 a 1980 (STANHILL, 2005). Concomitante a isto, Romanou et al (2007) encontraram o mesmo fenômeno em outras partes do planeta, verificando que ocorria uma redução na irradiação solar que atingia o solo.

Tabela 1 – Médias térmicas entre os dias 8 e 17 de setembro de 2001 nos Estados Unidos

Fonte: Travis et al (2002)

Esses estudos independentes têm demonstrado que há algo além daquilo que se discute, pois, como mencionam Roderick et al (2007), "Antigamente, acreditava-se que com a elevação da temperatura, aumentaria a taxa de evaporação diária, mas é a energia dos fótons da luz solar incidindo sobre a água que ascende suas partículas para a atmosfera". Ora, para haver precipitação é necessária a presença de micropartículas, como pólens ou sais em suspensão. As moléculas de água se aglutinam ao seu redor até que sua flutuabilidade é superada pela força da gravidade, ocasionando a precipitação. Entretanto, não bastasse a diminuição da taxa de evaporação em diversos lugares, observa-se que:

No ar poluído os aerossóis naturais se juntam com nitrato, fuligem, carbono e outros elementos emitidos pela ação antrópica; assim existem mais lugares para que a água se aglomere, formando mais nuvens, impedindo que o calor do sol passe: essa é a causa do escurecimento global (INDOEX, 1999).

Assim, a pulverização de partículas na atmosfera combate o ganho de energia na mesma, sinalizando que o poder de alguns gases em absorver calor é maior que se pensava (Figura 1); além disso, além da

Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

diminuição da taxa de evaporação que interfere no volume de precipitação do planeta, esse fenômeno aumenta os pontos de aglutinação das gotículas de água dificultando a precipitação.

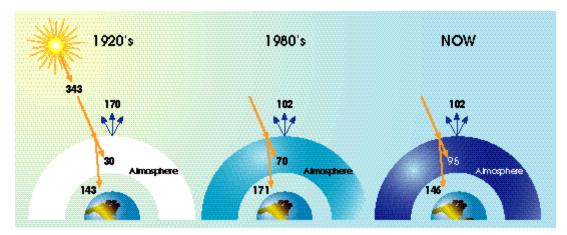


Figura 1 - Evolução da absorção atmosférica no orçamento global de energia (em Wm⁻²) **Fonte:** http://www-indoex.ucsd.edu/publications/white_paper/chap1.html

Em decorrência disto, a queima de combustíveis fósseis perturba significativamente os fenômenos atmosféricos e as etapas do ciclo hidrológico. Segundo a Figura 2, a ação dos aerossóis durante todo o século XX diminuiu em quase todo o globo a quantidade de luz que alcança o solo, mesmo que em algumas regiões tenha se mantido inalterado, e em algumas poucas regiões tenha aumentado (amarelo).

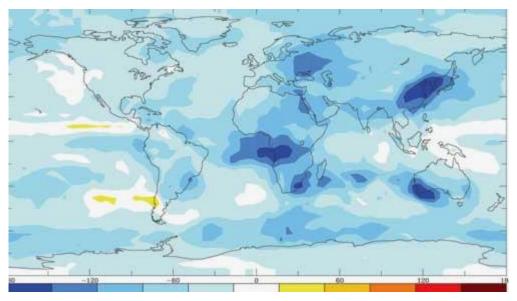


Figura 2 - Simulações sobre a quantidade de luz que atinge o solo devido à ação dos aerossóis **Fonte:** NASA (2007)

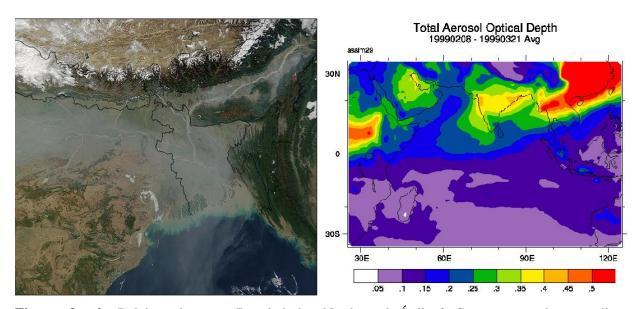
A primeira vista fica difícil explicitar uma razão para essa situação, posto que essas localidades possuem diferenças significativas entre si, não possuindo um padrão homogeneizante; em razão disso, um

Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

aprofundamento das pesquisas faz-se necessário para que se possa entender o fenômeno, verificando ao menos se há interferência na taxa de evaporação como é o caso desse estudo.

2. Justificativa e Hipótese

Segundo as pesquisas desenvolvidas pelo Projeto Intergovernamental INDOEX em 1999, as diversas regiões do planeta tem acusado uma relação estreita entre sua atmosfera e as atividades antrópicas. Um exemplo que salta aos olhos é observado na região do oceano Índico onde as massas de ar poluídas advindas da Índia podem ser contrastadas com aquelas limpas oriundas do extremo Sul do planeta a partir do deslocamento das massas de ar da Antártida. Reconhecidamente, as figuras 3 e 4 atestam que a presença humana é o elemento diferenciador que ocasiona toda a perturbação que é observada.



Figuras 3 e 4 - Poluição do ar em Bangladesh e Nordeste da Índia & Concentração de aerossóis na atmosfera no Sul da Ásia

Fonte: Nasa (2002) & http://www.cgd.ucar.edu/cms/pjr/papers/assim/v6.html

Com base nessas informações uma área de estudo foi delimitada com o objetivo de auferir o nível de alteração que a taxa de evaporação local sofreu a partir da ação de poluentes e partículas em suspensão no ar, para tanto a mesma deveria dispor de estações climatológicas com uma série de dados que alcançassem ao menos duas décadas e estivesse geograficamente próxima do eixo econômico da nação, a saber o triângulo formado pelas três capitais estaduais mais importantes da nação; São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, posto que a emissão de gases nas mesmas deve ser a mais expressiva.

Inicialmente análises preliminares foram desenvolvidas com os dados da Estação Climatológica do CRHEA da EESC/USP em Itirapina/SP devido à proximidade e facilidade de acesso e a existência de



Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

dados sobre a taxa de evaporação em tanques classe A entre 1999 e 2009. Segundo pode ser verificado, a taxa de evaporação acusou uma redução de 4,9 mm para 4,3 mm de água evaporada/dia, sinalizando que o fenômeno pode estar ocorrendo no território brasileiro e na América do Sul, ocasionando perturbações.

3. Materiais e Métodos

Partindo de uma metodologia hipotético-dedutiva, o estudo desenvolveu suas análises a partir dos dados coletados junto às estações sinópticas e banco de dados estabelecidos em Machado, Campos do Jordão, Guarulhos, Lambari, Lavras, Mirante de Santana (São Paulo), Ribeirão Preto, São Lourenço, Sorocaba, São Carlos e Taubaté (Figura 7) sobre insolação (radiação solar), precipitação e evaporação.

Os dados coletados para análise foram extraídos do evaporímetro de piche, heliógrafo e pluviômetro. Optou-se pelo evaporímetro de piche em função da maior disponibilidade de dados e da compatibilidade que existe entre seus dados e os dados gerados nas coletas dos Tanques Classe A. Os dados produzidos pelo heliógrafo auxiliaram no estabelecimento de uma margem segura para os estudos mediante a análise comparativa da intensidade do brilho do Sol e da taxa de evaporação da água durante o dia. O pluviômetro forneceu os dados de precipitação utilizados para cruzamento final das informações tendo em conta a perspectiva de estabelecer uma correlação entre evaporação e insolação – produto decorrente.



Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

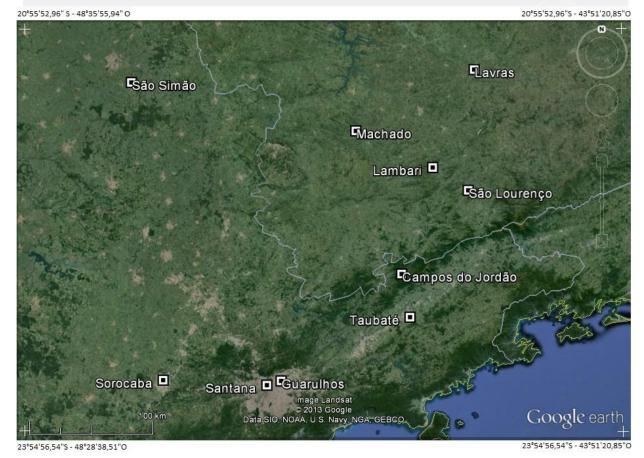


Figura 7 - Localidades elegidas para coleta de dados

Fonte: Google earth (2013)

Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

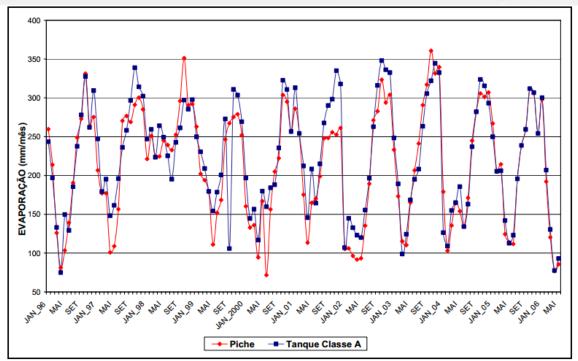


Gráfico 1 - Dados mensais de evaporação entre 1996 a 2006 na cidade de Serra Negra/RN **FONTE:** Barbosa et al (2006)

Devido à dificuldade na obtenção de dados de tanques classe A, a alternativa foi respaldar a teoria sob o evaporímetro de Piché. Para validar essa opção, buscou-se na literatura estudos para saber se os dados dos instrumentos seriam compatíveis. Segundo observou-se a troca é viável, permitindo o uso do evaporímetro, como demonstrado no gráfico anterior (Gráfico 1) por Barbosa e Righetto (2006).

Corrobora com isso o estudo desenvolvido por Blanco e Folegatti (2004) em Piracicaba - uma das cidades usadas como base de dados - que acusou melhores resultados no uso do evaporímetro de Piché frente ao uso dos dados fornecidos pelos tanques Classe A:

The regression equations and the statistical coefficients obtained for each equipment are shown in Table 1. Modified atmometer provided best estimates of ET and resulted in the higher value of c, followed by Piche atmometer, reduced pan and Class A pan. Modified and Piche atmometers showed very good performance, with values of c equal to 0.78 and 0.77, respectively. Performance of reduced pan was also good, with c equal to 0.62, while Class A pan installed outside the greenhouse did not provide good estimates of ET inside, with c equal to 0.55 which corresponds to a reasonable performance according to the criteria used by Camargo & Sentelhas (1997). (BLANCO E FOLEGATTI, 2004)

Segundo demonstram Blanco & Folegatti (idem) na Tabela 2, a opção pelo evaporímetro assenta-se na qualidade dos dados que este disponibiliza frente à qualidade dos dados oferecidos pelo Tanque Classe A, assegurando que a escolha do equipamento é a decisão mais correta quando se objetiva estudar o nível de evaporação de uma localidade.

Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

Tabela 3: Regression equation, standard error of mean (SE), coefficient of determination (r²), agreement index (d), coefficient of confidence (c) and performance of different equipments in estimating evapotranspiration (ET) in greenhouse, compared to ET of Penman-Monteith model (ET_{PM})

	T TAT					
Equipment	Equation§	SE	r ²	d	С	Performance
Reduced pan	ET_{PM} - $0.95E_{red}$	0.58	0.76	0.82	0.62	Medium
Modified atmometer	ET_{PM} - $1.04E_{AT}$	0.38	0.86	0.91	0.78	Very good
Piche atmometer	ET_{PM} - $0.95E_{P\mathrm{I}}$	0.44	0.86	0.90	0.77	Very good
Class A pan#	ET_{PM} - $0.65E_{CA}$	0.65	0.73	0.76	0.55	Reasonable

[#]Installed outside the greenhouse

Fonte: Blanco & Folegatti (2004)

Sob esse embasamento, a análise desenvolvida nessa pesquisa esteve ocupada com a análise dos dados de evaporação e insolação, buscando identificar o grau de articulação que existiam entre eles para o delineamento de indícios que sinalizassem para a ocorrência do fenômeno em terras brasileiras. Os resultados foram analisados frente a linearidade e tendência que os dados coletados apresentavam.

Em seguida, o estudo desenvolveu uma comparação entre a taxa de evaporação de água e o comportamento das precipitações ao longo do período estudado, cuidando em estabelecer uma ligação entre essas variáveis e a admissão de mais um paradigma influente no ciclo hidrológico e especialmente no ritmo das chuvas – sem sombras de dúvida essa será a maior contribuição do estudo para a expansão do conhecimento científico.

4. Resultados Obtidos

Através dos dados coletados e analisados, observaram-se algumas tendências. Em Campos do Jordão e Taubaté houve uma estabilidade na evaporação e um declínio na insolação; em Guarulhos, Sorocaba e Lambari tanto a evaporação como a insolação permaneceram estáveis, sem maiores oscilações nesses quesitos; em Lavras e São Lourenço ocorreu um aumento na evaporação enquanto a insolação mantevese constante; em Machado houve um pequeno aumento na evaporação e uma pequena diminuição na insolação; no Mirante de Santana percebeu-se um significativo aumento na evaporação acompanhada por uma diminuição na insolação, assim como em Ribeirão Preto. Diante disso, tem-se um quadro eclético que dificulta a identificação de uma tendência geral, pois, as mencionadas estações situam-se inseridas — guardadas algumas especificidades — no mesmo contexto geográfico com suas variáveis meteorológicas.

 $[\]S E_{red}, E_{AT}, E_{R}$ and E_{CA} are the evaporation values obtained from the reduced pan inside the greenhouse, modified atmometer, Piche atmometer and Class A pan, respectively, in mm d⁻¹

Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

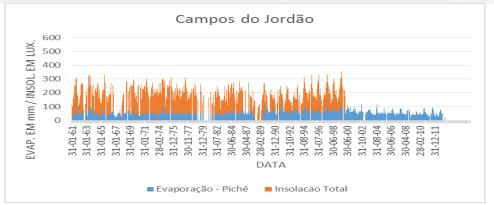


Gráfico 2 – Evaporação e Insolação Solar na Estação Meteorológica de Campos do Jordão

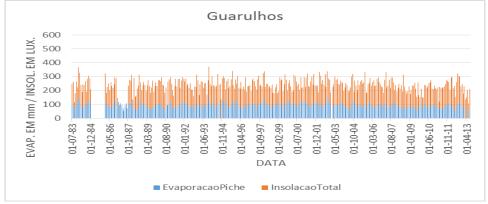


Gráfico 3 – Evaporação e Insolação Solar na Estação Meteorológica de Guarulhos

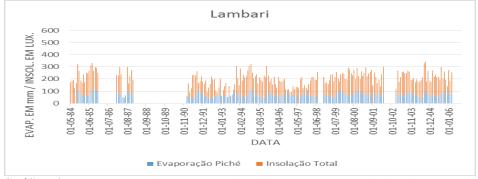


Gráfico 4 – Evaporação e Insolação Solar na Estação Meteorológica de Lambari

A partir destes dados, contrariando a perspectiva inicial que motivou a pesquisa, não se verificou uma correlação entre evaporação e insolação, tampouco, suas interferências com relação a aspectos geográficos, tais como: proximidade com o mar, altitude, relevo, vegetação e latitude. A fragmentação dos dados não incorreu em uma tentativa de realizar uma projeção em base matemática, já que isto poderia desconsiderar aspectos vitais às medições, tais como chuvas decamilenares, erupções vulcânicas e outros eventos pontuais e/ou catastróficos. A isto se deve uma análise mais acurada e especializada para a eficácia dos dados em virtude da tendência que um gráfico pode apresentar.



Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

Tendo em conta toda a complexidade dos estudos atmosféricos, entende-se que as discussões concernentes ao fenômeno ainda precisam avançar muito no contexto da América do Sul, pois, provavelmente, fatores ligados com a circulação atmosférica e o fluxo de trocas nessa região do planeta estejam obliterando sua manifestação. Nesse aspecto, ainda é interessante notar que apesar de se encontrarem próximas e situadas em contextos geográficos contíguos, as estações apresentaram padrões distintos e tendências diferenciadas de evaporação e insolação, provocando dúvidas e reclamando o aprofundamento das pesquisas para o entendimento da questão, demandando inclusive que seus dados sejam questionados ou então complementados por outros.

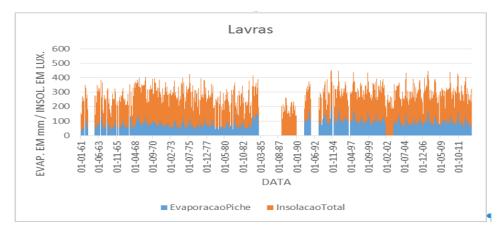


Gráfico 5 – Evaporação e Insolação Solar na Estação Meteorológica de Lavras

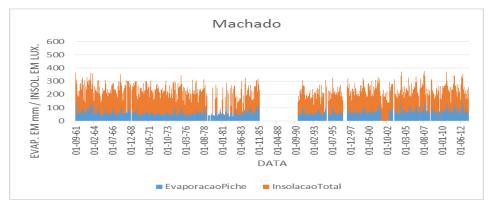


Gráfico 6 – Evaporação e Insolação Solar na Estação Meteorológica de Machado

Conforme os gráficos puderam demonstrar, apenas nas estações de Guarulhos, Sorocaba e Lambari foi observada uma articulação entre a oscilação da evaporação e da insolação solar, nas demais, os dados coletados dificultam um entendimento mais amplo, pois a tônica constitui-se em uma sensível desarticulação das variáveis. Obviamente aspectos remetidos à umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e temperatura pode fornecer importantes subsídios para o entendimento do quadro.

Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

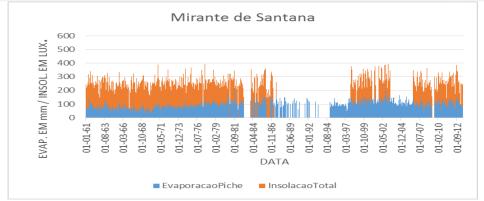


Gráfico 7 – Evaporação e Insolação Solar na Estação Meteorológica do Mirante de Santana

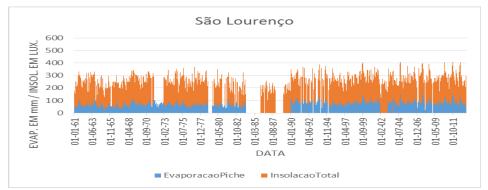


Gráfico 8 – Evaporação e Insolação Solar na Estação Meteorológica de São Lourenço

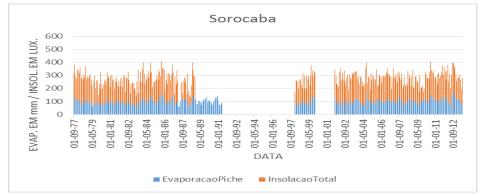


Gráfico 9 – Evaporação e Insolação Solar na Estação Meteorológica de Sorocaba

Atentando para isso e para o padrão de circulação atmosférica que prevalece na região a partir da latitude e origem dos "ventos" que influenciam as características atmosféricas cunhando um padrão climático, aprofunda-se a percepção de que as informações obtidas trouxeram maior complexidade à questão, dificultando seu entendimento e recobrando um aprofundamento dos estudos, bem como uma verificação da qualidade dos equipamentos e dados das estações.

Obviamente, tal expectativa poderia ser frustrada a partir do padrão atmosférico desse espaço geográfico, pois, o Sudeste brasileiro é sujeito a circulação atmosférica geral da América do Sul situando-se no

Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

trajeto de deslocamento das massas de ar provindas do extremo Sul (frentes) e da região amazônica (ZCAS) – áreas onde a interferência humana é consideravelmente menor e quiçá ainda inexpressiva para influir na composição das massas de ar.

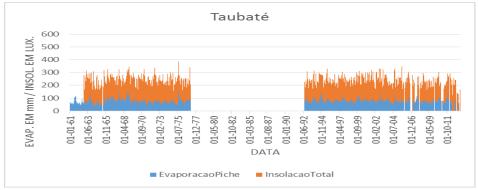


Gráfico 10 - Evaporação e Insolação Solar na Estação Meteorológica de Taubaté

5. Considerações Finais

Segundo estudos publicados por pesquisadores como Travis et al (2002) e Stanhill (2005) e reforçados pelo Programa Intergovernamental INDOEX, a poluição atmosférica tem lançado partículas no ar que são capazes de absorver uma parcela significativa da luz solar que adentra a atmosfera terrestre, diminuindo entre outros a taxa de insolação e evaporação.

Sob a perspectiva de verificar a intensidade do fenômeno em terras brasileiras, o presente estudo foi desenvolvido analisando os dados de evaporação e insolação coletados e disponibilizados pelas estações meteorológicas de Campos do Jordão, Lambari, Sorocaba, Machado, Taubaté, Guarulhos, Lavras, São Lourenço, Mirante de Santana e Ribeirão Preto; pois, situam-se nas imediações do espaço econômico mais dinâmico do território brasileiro no contexto das três grandes metrópoles do Sudeste — Belo Horizonte, São Paulo e Rio de Janeiro — que respondem pelo consumo concentrado de recursos naturais e energia, bem como de emissão de efluentes sólidos, líquidos e gasosos.

Após a coleta e análise dos dados, verificou-se, para surpresa da pesquisa que inexiste uma clara sinalização das informações principais e periféricas para uma manifestação do fenômeno; discordando dos resultados apresentados nos Estados Unidos, Alemanha, Israel e Austrália.

No entanto, por mais que tal constatação tenha se manifestado, é importante ressaltar que a circulação atmosférica na região pode ter compensado a ação antrópica, pois é notória a diferença que se observa entre os ventos amazônicos e polares frente aos demais que se situam no contexto das áreas densamente urbanizadas e com elevada concentração de atividade industrial das terras emersas do hemisfério Norte.



Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

Assim, fica a certeza de que os estudos devem avançar, verificando, se necessário, a qualidade dos dados disponibilizados pelas estações meteorológicas que cooperaram com a pesquisa, pois, na série de anos avaliada na maioria são notórios os hiatos com ausência de informações ou com quadro incompleto.

6. Referências Bibliográficas

BARBOSA, C. M. S.; MATTOS, A. & RIGHETTO, A. M. – **Estudo de Taxas de Evaporação em Serra Negra do Norte/RN**, 2006, disponível em: http://www.cbmet.com/cbm-files/14-1a5065e13128a0980149ba0308ce1c94.pdf.

BLANCO, F. F. & FOLEGATTI, M. V. – Evaluation of evaporation-measuring equipments for estimating evapotranspiration within a greenhouse. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol 8, n. 2 -3, 2004 disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662004000200004&script=sci_arttext#tab01.

HARIS, Jonathan M. - **Environmental and natural resource economics:** A contemporary approach. Cap.1 - Mudando perspectiva sobre o ambiente, 2000. Disponível em: www.neema.ufc.br/nivel1_economiaeambiente.pdf.

HOUGHTON, J. T. et al – Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1996.

INDIAN OCEAN EXPERIMENT (INDOEX). Disponível em: http://www-indoex.ucsd.edu/publications/white_paper/. Acessado em 22 jun. 2012.

MONTEIRO, C. A. F. - **Clima e Excepcionalismo:** Conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis, UFSC, 1991.

NATIONAL AERONAUTICS and SPACE ADMINISTRATION (NASA) - **Global 'Sunscreen' Has Likely Thined, Report NASA Scientists**. Disponível em: http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2007/aerosol_dimming.html. Acessado em 18 set. 2012.

http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=9145 - Earth Observatory. This true-color image was acquired on January 14, 2002, by the Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) - Global 'Sunscreen' Has Likely Thinned, Report NASA Scientists.

RASCH, P. J.; COLLINS, W. D.; EATON, B. E. – **Understanding the Indian Ocean Experiment INDOEX aerosol distributions with an Aerosol Assimilation**. Disponível em: http://www.cgd.ucar.edu/cms/pjr/papers/assim/v6.html. Acessado em 12 set. 2012.

RODERICK, M. L.; HOBBINS, M. T.; FARQUHAR, G. D. Pan Evaporation Trends and the Terrestrial Water Balance. **Geophysical Research Letters**, v. 34, Issue 17, september, 2007. disponível em http://biology-assets.anu.edu.au/CMS/FileUploads/file/Farquhar/255RoderickRoFaHopanattribGRL2007.pdf



Instituto de Geociências - Unicamp Campinas - SP 28 de Junho à 02 de Julho de 2017

ROMANOU, A.; LIEPERT, B.; SCHIMIDT, G. A.; ROSSOW, W. B.; RUEDY, R. A. and ZHANG, Y. - 20th century changes in surface solar irradiance in simulations and observations - **Geophysical Research Letters**, VOL. 34, L05713, doi:10.1029/2006GL028356, 2007.

STANHILL, G. - Global Dimming: A new aspect of climate change. In: **Weather.** Volume 60, Issue 1, pages 11–14, January 2005.

TRAVIS, D. J.; M. CARLETON, A. M.; LAURITSEN, R. G. - Climatology: Contrails reduce daily temperature range. In: www.nature.com/nature/journal/v418/n6898/full/418601a.html.

VALENTINI, Riccardo - **Agriculture Development Facing a Climate Change Scenario.** Italy-CMCC. Apresentado no WIMC (Workshop Internacional de Mudanças Climáticas) nos dias 13 e 14 de outubro de 2011, na cidade de Campinas-SP.

7. Agradecimentos

À Fapemig pelo apoio financeiro disponibilizado para o estudo.