

SILVIA GARCIA DE CASTRO

**ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO, DO
MATERIAL PARTICULADO E DA RADIAÇÃO GLOBAL EM
MUNICÍPIOS PAULISTAS**

SILVIA GARCIA DE CASTRO

**ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO, DO
MATERIAL PARTICULADO E DA RADIAÇÃO EM MUNICÍPIOS
PAULISTAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia
do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual
Paulista, para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica na área de Transmissão e
Conversão de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Jorge Coelho Simões
Co-orientadora: Profa. Dra. Simone Marilene Sievert da Costa

Guaratinguetá

2015

C355a	Castro, Silvia Garcia de Análise espacial e temporal da precipitação, do material particulado e da radiação global em municípios paulistas / Silvia Garcia de Castro. – Guaratinguetá , 2015 125 f. : il. Bibliografia: f. 87-93 Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015 Orientador: Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões Co-orientadora: Profa. Dra. Simone Marilene Sievert da Costa 1. Ar – Qualidade 2. Sensoriamento remoto I. Título CDU 661.92
-------	--

SILVIA GARCIA DE CASTRO

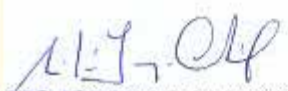
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"MESTRE EM CIÊNCIAS"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. SILVIO JORGE COELHO SIMÕES
Orientador / UNESP/FEG


Prof. Dr. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN
UNESP/FEG


Prof. Dr. RENATO GALANTE NEGRI
INPE

Janeiro de 2015

DADOS CURRICULARES

SILVIA GARCIA DE CASTRO

NASCIMENTO: 09.03.1969 – GUARATINGUETÁ/SP

FILIAÇÃO: Mário Garcia
Maria Moreira Garcia

2009/2011 Curso de Graduação
Tecnologia em Gestão Ambiental - Universidade Metodista de São Paulo

Dedico este trabalho aos meus filhos pela motivação que representam.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, sem o qual não existiriam os estudos;

Ao Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões, pela amizade, confiança, orientação e oportunidade;

À Profa. Dra. Isabel Cristina de Barros Trannin, pelos ouvidos e palavras pertinentes;

Ao Engenheiro Sérgio Pereira, do INPE, pela confiança e apoio que tornaram possíveis os estudos e trabalhos;

A Cíntia pelas explicações sobre os Sistemas de Informação Geográfica, ao Dr. Wagner Flauber, pelas explicações no GRADs, ao Dr. Júlio, pelas discussões sobre imputação de dados, ao Bruno pelo apoio na informática, ao Diego Moitinho pelas discussões sobre imagens de satélite, ao Dr. Luís Tadeu pelo apoio, ao Leandro pelas conversas sobre o modelo GL, a Juliana e Mayra pelas palavras de estímulo, ao meu chefe Dr. Nelson Ferreira pela compreensão. Ao Dr. Renato Galante pelas hipóteses discutidas. A todos do INPE que me ensinaram a acreditar que sempre é possível, especialmente, à Dra. Simone Sievert;

À minha mãe Nenê e meu pai Mario, pelo testemunho de perseverança que representaram em minha vida;

Ao meu marido Elder e filhos por suportarem minhas lacunas nesse período;

A todos meus amigos, em especial à Sandra e à Lucia.

“As noites se iluminaram quando as luzes foram acesas e foi possível enxergar um pouco mais”.

CASTRO, S. G. **Análise Espacial e temporal da precipitação, do material particulado e da radiação em municípios paulistas**. 2015. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar temporalmente e espacialmente o volume de precipitação pluviométrica, a concentração de material particulado e a radiação, bem como suas relações sobre a quantidade de radiação global terrestre disponível no período de 2011 a 2013 em alguns municípios paulistas. Os municípios da região norte e nordeste do Estado de São Paulo, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, Araçatuba, São José do Rio Preto e Bauru, se destacam pela atividade sulcroalcoleira, enquanto Jacareí, em região de vale, e Santos, no litoral, são industrializados. Foram utilizados dados horários, diários e mensais do material particulado (MP_{10}) e de radiação global, fornecidos pela CETESB e dados diários e mensais da espessura óptica de aerossol (EOA_{550}), obtidos pelo satélite Terra. Os dados de radiação global obtidos da CETESB, com resolução temporal horária e mensal foram comparados aos dados e imagens fornecidos pelo satélite geoestacionário (GOES) e modelados pelo Modelo GL. O volume de precipitação permitiu inferir sobre as condições de nebulosidade e estabelecer relações entre pluviosidade e concentração de material particulado local, assim como, relacioná-los à radiação solar disponível. As variáveis complementares, uso e ocupação do solo e de queima de cana de açúcar, facilitaram a compreensão das diferenças espaciais identificadas, causadas por atividades antrópicas e fatores ambientais.

A precipitação permitiu inferir as condições de nebulosidade durante o período analisado, e estabelecer relações entre pluviosidade e concentração de material particulado local, assim como, relacioná-los à radiação solar disponível.

A concentração de material particulado não apresentou relevância sobre a quantidade média da radiação solar disponível no período analisado, contudo a variabilidade mensal e diária do recurso solar disponível demonstrou a necessidade de avaliações futuras do impacto do material particulado (MP_{10}) sobre a radiação global, considerando períodos de céu limpo.

Esse estudo pode contribuir com subsídios às regiões analisadas para avaliações futuras de viabilidade do uso do recurso solar, como alternativa energética regional.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade do ar, climatologia, recurso solar, sensoriamento remoto, imagens de satélite.

CASTRO, S. G. **Análise Espacial e temporal da precipitação, do material particulado e da radiação em municípios paulistas**. 2015. 125 f. Dissertation (Master's Degree in Mechanical Engineering) Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

This study aimed to Evaluation of spatial and spatiotemporal analysis of precipitation, particulate matter and global solar radiation, as well as their relations on the amount of land available global radiation in the period from 2011 to 2013 in some counties. This work aims to analyze some cities where sugarcane production takes place, at the north and northeast of the State of São Paulo (Presidente Prudente, Ribeirão Preto, Araçatuba, São José do Rio Preto and Bauru), as well as industrialized cities of Jacarei and Santos, respectively in the region of valley and coastline.

We used data hourly, daily and monthly particulate matter (PM_{10}) and global radiation provided by CETESB and daily and monthly data from the aerosol optical depth (AOD_{550}) obtained by the Terra satellite. The global radiation data obtained from CETESB, with hourly and monthly temporal resolution were compared to the data and images provided by geostationary satellite (GOES) and modeled by GL Model. The volume of precipitation allowed to infer the conditions of cloudiness and linking pluviose and concentration of the local particulate matter, as well as their relation to the available solar radiation. The additional variables, use and occupation of land and sugar cane burning, facilitated the understanding of spatial differences identified, caused by human activities and environmental factors.

The precipitation also has shown the cloudy conditions during the analysis period, and linking pluviosity and concentration local particulate matter, as well as their relation to the available solar radiation.

The concentration of particulate matter showed no relevance on the average amount of solar radiation available in the analyzed period, however the monthly and daily variability of the solar resource available has shown the need of further assessment of the impact of particulate matter (PM_{10}) on the global radiation, considering periods of clear sky.

This study may provide insight to the regions analyzed for future viability reviews of the use of solar resource, such as regional energy alternative.

KEYWORDS: air quality, solar energy, environmental variable, satellite images.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Camadas que compõem a atmosfera: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera.....	18
Figura 2 - Componentes da Camada Limite Planetária.....	22
Figura 3 - Distribuição dos Aerossóis na atmosfera.....	25
Figura 4 - Exemplos de fontes naturais de aerossol: poeira do deserto, compostos orgânicos voláteis naturais, queima de biomassa e erupção vulcânica.	27
Figura 5 - Emissão, transporte e deposição de aerossóis.....	28
Figura 6 - Formação e crescimento das gotículas das nuvens em relação aerossóis.....	29
Figura 7 - Impactos diretos e indiretos dos aerossóis na atmosfera.	30
Figura 8 - Absorção e reflexão da radiação solar na atmosfera, conforme o modelo GL.....	32
Figura 9 - Localização dos Municípios avaliados do Estado de São Paulo.	37
Figura 10 - Relevo de Marília.....	42
Figura 11– Colheita da Cana de Açúcar com Queima em 2011.	46
Figura 12 - Colheita da Cana de Açúcar com Queima em 2012.	47
Figura 13 - Colheita da Cana de Açúcar com Queima em 2013.	47
Figura 14 - Etapas do desenvolvimento do estudo realizado nos municípios paulistas de Araçatuba, Bauru, Jacareí, Marília, Ribeirão Preto, São José do Rio Preto e Presidente Prudente.....	50
Figura 15 - Precipitação acumulada no período de Janeiro a Dezembro dos anos de 2011 a 2013.....	57
Figura 16 - Concentração do MP_{10} nos municípios estudados, no período de janeiro a dezembro dos anos 2011 a 2013.....	60

Figura 17 - Série temporal da espessura óptica do aerossol – EOA_{550} , no período de janeiro a dezembro dos anos de 2011 a 2013.....	63
Figura 18 - Composição mensal global da Espessura Óptica do Aerossol no período de maio a outubro de 2012.....	64
Figura 19 - Regressões para a relação Linear entre EOA_{550} X MP_{10}	66
Figura 20 - Média mensal de Radiação Solar Global no período de Janeiro a Dezembro dos anos 2011 a 2013: (a) Araçatuba; (b) Bauru; (c) Jacareí; (d) Marília; (e) Presidente Prudente; (f) Ribeirão Preto; (g) Santos; (h) São José do Rio Preto.....	70
Figura 21 - Configuração mensal da radiação global para o período de 2011 a 2013 na América do Sul – Modelo GL	72
Figura 22 - Radiação Observada e gerada pelo Modelo GL	73
Figura 23 - Radiação Global de Superfície X Radiação Global estimada pelo Modelo GL.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição estimada da atmosfera aos 100 km de altitude	20
Tabela 2 – Especificações das Bandas 1 a 19 do sensor MODIS.....	35
Tabela 3 – Níveis de dados MODIS.	36
Tabela 4 – Localização das Estações de Qualidade do Ar nos Municípios Analisados.....	41
Tabela 5 – População, Atividade Econômica Prioritária e Emissões Móveis de MP ₁₀	44
Tabela 6 – Evolução do Cultivo e Coleita de Cana com Queima em 2011 e 2012.....	45
Tabela 7 – Classificação climática de Koeppen para os municípios estudados.	55
Tabela 8 – Correlação entre as variáveis EOA ₅₅₀ e MP ₁₀ e respectivos coeficientes de determinação (R^2).	67
Tabela 9 – Informações extraídas da Regressão Linear EOA ₅₅₀ X MP ₁₀	68
Tabela 10 – Correlação e coeficiente de determinação – Radiação de superfície x radiação modelada.....	76
Tabela 11 – Dados obtidos a partir da Regressão Linear.....	77
Tabela 12 – Médias Mensais de Radiação Global, MP ₁₀ e Precipitação acumulada mensal para o inverno de 2011 a 2013, verão 2011-2012 e verão 2012-2013 para os municípios selecionados.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASCII	American Standard for Computer Information Interchange
CANASAT	Monitoramento da Cana-de-Açúcar por Imagens de Satélite
CBERS	Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CEPAGRI	Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CIIAGRO	Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CSV	Comma Separated Values
EOA ₅₅₀	Espessura Óptica do Aerossol 550nm
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GIOVANNI	GES DISC Interactive Online Visualization And Analysis Infrastructure
GL	Modelo para estimativa da radiação solar global via satélites
GRADS	Grid Analysis and Display System
HDF	Hierarchical Data Format
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
MME	Ministério de Minas e Energia
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MP ₁₀	Material Particulado 10 µm
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ÚNICA	União da Indústria de Cana de Açúcar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	COMPONENTES DA ATMOSFERA	18
3.2	CAMADA LIMITE PLANETÁRIA	20
3.3	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	22
3.4	RADIAÇÃO	31
3.4.1	Modelo Global	31
3.5	O SENSOR MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER – MODIS	34
4	MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1	ÁREA ESTUDADA	37
4.2	VARIÁVEIS ANALISADAS.....	38
4.2.1	Precipitação	38
4.2.2	Radiação	39
4.2.3	Dados de Material Particulado de Superfície	39
4.2.4	Dados Complementares	41
4.2.5	Localização e Relevô	42
4.2.6	Colheita da cana de açúcar	45
4.3	METODOLOGIA	48
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1	CLIMATOLOGIA DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS	55
5.2	ANÁLISE DO CICLO ANUAL DE PRECIPITAÇÃO.....	56
5.3	ANÁLISE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	59
5.4	ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL	69
5.5	ANÁLISE SAZONAL	78
6	CONCLUSÕES.....	82

7	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	83
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
9	ANEXO A.....	91

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica causa impactos na qualidade do ar, na visibilidade e no balanço da radiação. A radiação solar ao interagir com os componentes da poluição atmosférica é reduzida, especialmente, nas baixas altitudes. Um dos componentes da poluição atmosférica é o material particulado ou aerossol, constituído por partículas suspensas, que atuam sobre o balanço radiativo terrestre por meio da absorção e do espalhamento da radiação eletromagnética. Outras componentes atmosféricas, como nuvens e gases também podem ter influência sobre a quantidade de radiação solar que incide na superfície.

A quantidade de radiação solar incidente no planeta está em balanço com a quantidade de energia terrestre emitida na forma de radiação infravermelha. Mudanças nestas quantidades de energia fazem com que o planeta ajuste-se ao novo balanço por meio de mudanças de temperatura atmosférica. De acordo com Moura (2001), a maior parte da radiação solar concentra-se na faixa dos comprimentos de onda de 0,15 a 4,0 μm , enquanto que a radiação terrestre corresponde às ondas eletromagnéticas longas (3 a 100 μm). Arya (1988) subdividiu a faixa da radiação de ondas curtas em três faixas, assim, os comprimentos de onda menores que 0,3 μm , correspondem à radiação ultravioleta (UV); entre 0,3 e 0,7 μm , ocorre a região da radiação visível, também conhecida como fotossinteticamente ativa e, acima de 0,7 μm , a radiação infravermelha próxima (IVP).

No topo da atmosfera, penetra cerca de 341 W m^{-2} de radiação solar, mas nem toda essa energia alcança a superfície (TRENBERTH; FASULLO, 2012). O saldo de radiação incidente na superfície terrestre é de, aproximadamente, 50% da energia solar do topo da atmosfera. Neste aspecto, a viabilidade das plantas operacionais solares depende da quantidade de radiação solar disponível. O mapeamento prévio da radiação solar e sua respectiva variabilidade podem contribuir para assegurar a eficiência energética das plantas solares e auxiliar no atendimento à crescente demanda de energia.

De acordo com Abranches (2009), a matriz energética brasileira é, em maioria, dependente do recurso hídrico, sendo que a geração hidrelétrica corresponde a 82% da oferta energética total do país. De acordo com estimativas da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, em 2030, a demanda por energia será da ordem de 950 a 1.250 TWh ano⁻¹ (MME, 2007). No entanto, a crise hídrica dos últimos anos, tem

causado impacto sobre a produção de energia pelas hidrelétricas, o que tem exigido a utilização de fontes alternativas, como a energia solar.

Nesse contexto, este estudo analisou temporalmente e espacialmente variáveis que atuam sobre a radiação solar de superfície, como o volume de precipitação e a concentração de material particulado em municípios paulistas, no período de 2011 a 2013, visando subsidiar projetos de aproveitamento do recurso solar, como fonte alternativa de energia.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse estudo foi analisar a variabilidade espacial e temporal do volume de precipitação pluviométrica, da concentração de material particulado e da radiação global de superfície, assim como, a relação entre estas variáveis, para os municípios paulistas de Jacareí, Santos, Ribeirão Preto, Marília, São José do Rio Preto, Bauru, Presidente Prudente e Araçatuba, visando subsidiar a seleção de áreas com potencial de implantação de sistemas de geração de energia solar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

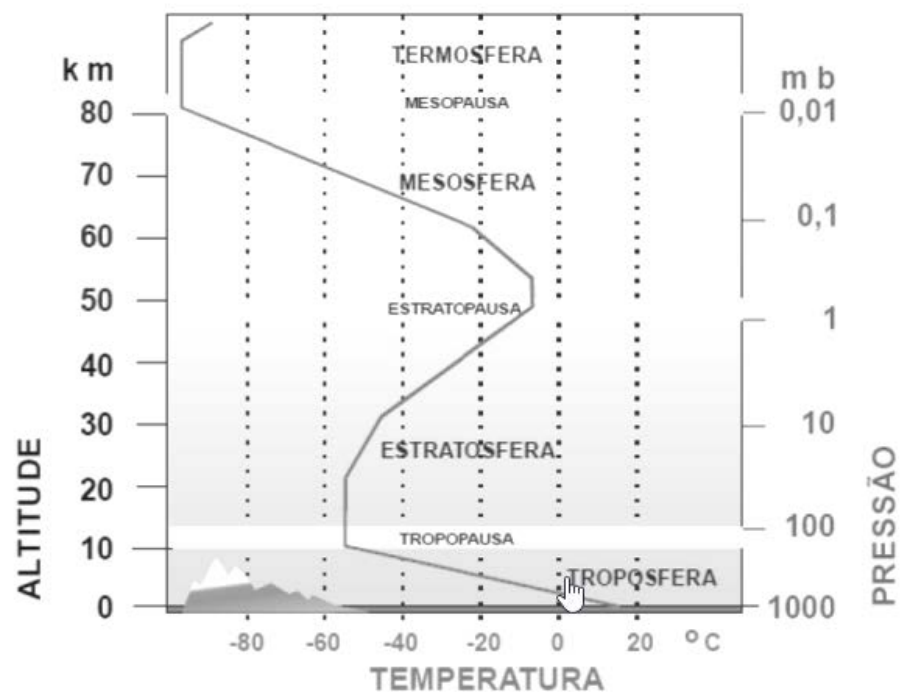
- Avaliar a existência de relação entre a concentração de material particulado medido à superfície (MP_{10}) e a espessura óptica de aerossol (EOA_{550}) estimada por satélite para os municípios do Estado de São Paulo: Jacareí, Santos, Ribeirão Preto, Marília, São José do Rio Preto, Bauru, Presidente Prudente e Araçatuba;
- Avaliar a existência de relação entre a radiação global de superfície e a estimada pelo modelo de radiação global (GL) a partir de imagens de satélite;
- Analisar o efeito sazonal do material particulado sobre a radiação solar de municípios paulistas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 COMPONENTES DA ATMOSFERA

A atmosfera é a camada que envolve a Terra, composta por um conjunto de gases. Ao contrário do que encontramos na literatura, no sentido físico, não existe uma estratificação distinta, ocorrendo apenas uma progressiva rarefação do ar com a altitude, sendo que até, aproximadamente, 100 km de altitude, a proporção de mistura de gases é constante e a difusão é essencialmente turbulenta (KIRCHHOF, 1942). Contudo, dependendo do perfil vertical de temperatura e pressão, a atmosfera pode ser classificada em cinco camadas concêntricas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera (RAVEN et al., 1995). Cada uma dessas camadas faz fronteira com a camada adjacente por meio de uma região, onde a temperatura é constante denominada de “pausas”, podendo ser tropopausa, estratopausa e mesopausa, dependendo da camada, como relacionado na Figura 1.

Figura 1 – Camadas que compõem a atmosfera: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera.



Fonte: Varejão-Silva (2006).

A troposfera é a camada atmosférica de interesse nesse trabalho e se estende da superfície até cerca de 10 a 15 km de altura, variando conforme a latitude e pode ser caracterizada pela rápida diminuição da temperatura com a altitude, que é de

aproximadamente, 6,5°C por quilômetro. Esse comportamento da atmosfera contribui para a dispersão dos gases, no entanto, fenômenos de inversão térmica acionados por processos naturais ou antrópicos podem agir sobre o gradiente térmico invertendo-o e dificultando a dispersão dos poluentes. A instabilidade dessa camada corrobora para que nela ocorra a maior parte dos fenômenos meteorológicos, favorecidos pela movimentação da energia térmica e variações de temperatura. É nessa camada que se concentra a maior parcela de poluentes, devido ao contato direto com a superfície e contém cerca de 80%, ou seja, quase toda a massa total do vapor de água da atmosfera. O conteúdo de vapor de água é variável, devido à formação de nuvens, precipitação e evaporação da água dos corpos d'água superficiais (MANAHAN, 2001). É comum dividir a atmosfera segundo sua turbulência em “Camada Limite Planetária”, que se estende da superfície até, aproximadamente, 1 km e “troposfera livre”, que se estende de 1 km até a tropopausa (SEINFELD; PANDIS, 2006) e seu topo recebe o nome de tropopausa.

A segunda camada é denominada estratosfera e está posicionada entre, aproximadamente, 45 a 55 km de altitude. Nessa camada, os ventos são constantes e a turbulência é reduzida, possibilitando a circulação de aviões comerciais. Também na estratosfera ocorre a camada de ozônio que protege a Terra dos efeitos nocivos da radiação ultravioleta e sua principal característica é o aumento da temperatura com a altitude. O limite superior da estratosfera recebe o nome de estratopausa.

A próxima camada é a mesosfera, localizada entre a estratopausa e a mesopausa, a uma altitude de, aproximadamente 80 a 90 km, onde a temperatura decresce com a altitude, atingindo o menor valor observado na atmosfera.

A quarta camada é a termosfera, que se estende da mesopausa a centenas de quilômetros de altura, havendo aumento da temperatura com a altitude. As elevadas taxas de absorção da radiação pelas moléculas de nitrogênio e oxigênio podem elevar a temperatura até 2000K, conforme a atividade solar.

A última camada é a exosfera, localizada a mais de 500 km de altitude, onde as moléculas de gases com energia suficiente podem escapar da ação gravitacional da Terra.

Um complexo mecanismo de reações químicas ocorre na atmosfera. Considerando que a composição química da atmosfera não é constante no tempo e no espaço, para identificarmos a composição química majoritária supõe-se que as partículas suspensas, o

vapor d'água e certos gases variáveis, presentes em pequenas quantidades, podem ser removidos da atmosfera de base. Supondo uma atmosfera seca e limpa, a composição química é estável em altitudes inferiores a 100 km (Tabela1). O gás mais abundante da atmosfera é o nitrogênio, que participa com 78% do volume, 21% corresponde ao oxigênio e somente 1% do volume é composto pelos componentes variáveis, como vapor d'água, metano, dióxido de enxofre, material particulado e outros constituintes menores (BRASSEUR et al., 1999; ROCHA et al., 2004).

Processos de transferência, transformação e armazenamento de energia e matéria resultantes da interação superfície-atmosfera produzem os fenômenos climáticos. Estes fenômenos contribuem com a formação, dispersão e deposição de poluentes, que se encontram em suspensão no ar, por meio de processos de condução, convecção, advecção, condensação e radiação. A atmosfera absorve a maior parte da radiação eletromagnética do Sol, por meio da distribuição da energia térmica proveniente da água dos oceanos, essa energia é transportada para os continentes e possibilita a redução dos gradientes de temperatura entre os ciclos diurno e noturno.

Tabela 1 – Composição estimada da atmosfera aos 100 km de altitude.

Gases fixos		Mistura de Volume (%)	Gases Variáveis	Mistura de Volume (%)
Nitrogênio (N ₂)	Molecular	78	Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,0375
Oxigênio Molecular (O ₂)		20	Metano (CH ₄)	0,00017
Argônio (Ar)		0,93	Óxido Nitroso (N ₂ O)	0,00010
Neônio (Ne)		0,0015	Vapor d'água (H ₂ O)	0,00001-40
Hélio (He)		0,0005	Ozônio (O ₃)	0,000001 – 0,001
Criptônio (Kr)		0,0001	-----	-----
Xenônio (Xe)		0,00008	-----	-----

Fonte: Adaptado de Vianello e Alves (1991).

3.2 CAMADA LIMITE PLANETÁRIA

A troposfera pode ser dividida em “Camada Limite Planetária” (CLP), que se estende da superfície até, aproximadamente, 1 km, e “troposfera livre”, que se estende de 1 km até a tropopausa (SEINFELD; PANDIS, 2006). As trocas de momento, massa e calor influenciam diretamente a CLP e o escoamento é dominado por movimentos turbulentos, em uma escala temporal de uma hora ou menos. A turbulência atua mais intensamente que a difusão molecular pura, a superfície remove momento linear e

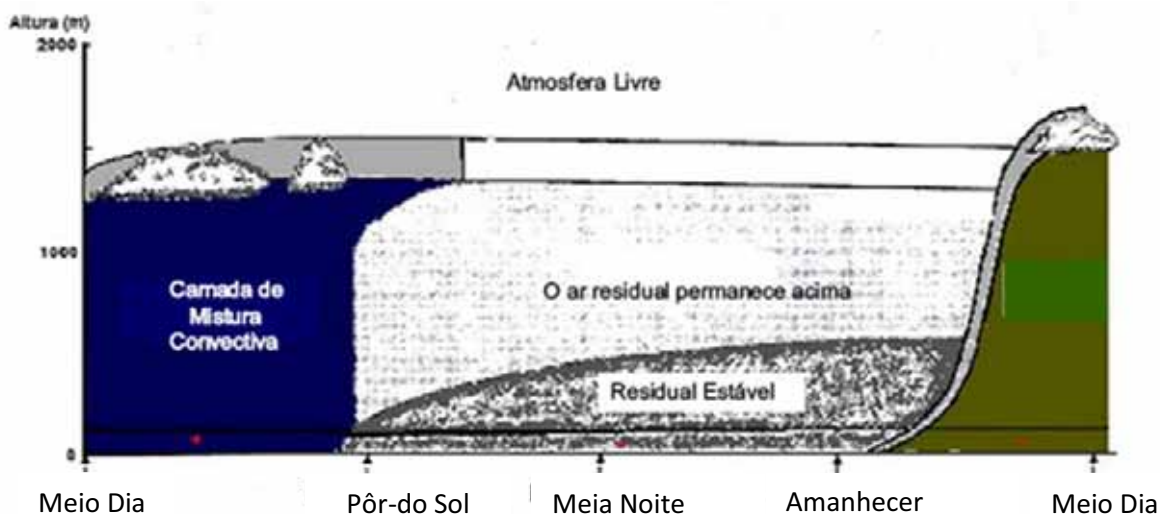
transfere calor e vapor d'água para a atmosfera. Podemos dizer que o escoamento turbulento é peculiar à CLP, pois podemos encontrá-lo fora dela, somente em nuvens convectivas ou nas proximidades de correntes de jato em intensos cisalhamentos de vento.

A altura da CLP em áreas rurais e em áreas urbanas motiva estudos de simulações por meio de modelos físicos e numéricos. Em ambos os casos, na maioria das vezes, o escoamento horizontal ocorre por meio do vento médio, que também pode proporcionar o escoamento vertical com menor intensidade. Quanto à estabilidade pode-se classificar a CLP como neutra, instável ou convectiva (STULL, 1988), como observado na Figura 2. Na Camada Limite Neutra a temperatura potencial é constante e não interfere na turbulência, pode ser detectada, principalmente, no período de transição do dia para noite. A Camada Limite Convectiva (CLC) é marcada pelo gradiente negativo da temperatura potencial. A instabilidade dessa camada intensifica a turbulência. Seibert et al. (2000) utiliza o sensoriamento remoto para determinar a altura da camada limite noturna e diurna. Experimentos comprovam que a CLC é consequência do aquecimento diurno da superfície e que a circulação convectiva expande sua espessura até cerca de 3000m. A Camada Limite Estável (CLE) é caracterizada por um gradiente positivo de temperatura. Nesse caso, a temperatura aumenta com a altura e a turbulência é desfavorecida.

Oscilações periódicas diárias afetam a configuração da Camada Limite e a dispersão de poluentes. No período da tarde, abaixo da Camada de Mistura é identificada a Camada Superficial. No período noturno ocorre uma camada de inversão sobre a Camada Residual da Camada de Mistura e o vento médio horizontal pode transportar os poluentes a centenas de quilômetros. No amanhecer, o aquecimento da superfície terrestre e a turbulência geram uma nova Camada de Mistura. Com o avanço do período da manhã, a dispersão ocorrerá de forma mais intensa, devido às circulações convectivas.

A dispersão de poluentes é afetada, não somente pela circulação atmosférica da CLP, mas também por características da fonte poluidora, onde fatores como a geometria da fonte, a velocidade da emissão e o tipo de poluente, atuam sobre a trajetória estimada da pluma.

Figura 2 – Componentes da Camada Limite Planetária.



Fonte: Adaptada de Stull (1988).

3.3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

O material particulado em suspensão na atmosfera é composto por partículas sólidas e líquidas, as propriedades principais desse particulado monitoradas são relacionadas ao tamanho e à constituição química desse material. O monitoramento da concentração do material particulado atmosférico ocorre por motivos de regulamentação da qualidade do ar e pesquisa científica. As unidades de medida da concentração do material particulado mais utilizadas são ppm (partes do contaminante por milhão de partes de ar) ou $\mu\text{g m}^{-3}$ (massa de contaminante em micrograma por metro cúbico de ar), no presente trabalho a unidade adotada foi $\mu\text{g m}^{-3}$. Segundo o CONAMA, órgão regulamentador da qualidade do ar no Brasil, a concentração média mensal de partículas inaláveis com diâmetro de corte menor que $10\ \mu\text{m}$ não pode ultrapassar $150\ \mu\text{g m}^{-3}$ em todo território nacional, a ultrapassagem não pode ocorrer mais que uma vez ao ano e o limite para a concentração média anual não pode ultrapassar $50\ \mu\text{g m}^{-3}$, essa resolução não impede que padrões mais rígidos sejam adotados por órgãos estaduais regulamentadores da qualidade do ar.

Segundo Mariani (2001), uma consequência decorrente do excesso de partículas na atmosfera é a redução da visibilidade causada pelo espalhamento e absorção da luz. A influência do aerossol particulado ocorre em escala local e global. Segundo Artaxo et al. (2006), as partículas em suspensão na atmosfera influenciam fortemente o balanço

radiativo da atmosfera, com consequências no clima, na química da atmosfera, na visibilidade e na saúde da população.

A classificação do tamanho da partícula atmosférica é geralmente idealizada como partícula esférica, empiricamente o tamanho é expresso em termos de um diâmetro equivalente, o diâmetro aerodinâmico. Segundo o guia de qualidade do ar da Europa WHO, (2000), essas propriedades aerodinâmicas estão associadas à fonte, ao transporte, à composição química, à remoção do ar e também à deposição no trato respiratório. No presente trabalho foram utilizados os dados classificados quanto à dimensão como moda grossa, também denominadas partículas inaláveis ou MP_{10} .

De acordo com Dallarosa (2005), a concentração dos elementos e compostos químicos da atmosfera pode se alterar em proporções nocivas ao ambiente. O desequilíbrio e a deterioração da qualidade natural da atmosfera representam uma ameaça à qualidade de vida do planeta, afetando os seres vivos e todos os componentes dos ecossistemas. A representatividade da ação antrópica é crescente quanto à elevação de índices de poluição atmosférica e está, comprovadamente, conectada ao incremento populacional, industrial e econômico. Fatores como a distribuição populacional espacial desequilibrada e hábitos de consumo desenfreado configuram um cenário de depreciação dos agentes naturais, podendo comprometer a qualidade do ar.

Estratégias eficientes de melhoria da qualidade do ar demandam o monitoramento, o conhecimento aprofundado das fontes poluentes e seus efeitos e impactos sobre os seres vivos e o ambiente. No Brasil, foi criado em 1989, o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) e, em seguida, a Resolução nº 03/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabeleceu novos padrões de qualidade do ar, e a aplicação do licenciamento ambiental para o controle das emissões fixas, de responsabilidade dos órgãos ambientais estaduais. Atualmente, no estado de São Paulo, a qualidade do ar é monitorada com base nos padrões estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 59.113/2013.

Como a rede de monitoramento de superfície não cobre todo o território nacional, a possibilidade da utilização de imagens de satélites meteorológicos para monitorar e estimar a presença de poluentes, embora não substitua a implantação de uma rede de monitoramento de qualidade do ar, pode ser uma ferramenta para identificar regiões mais susceptíveis aos efeitos nocivos da poluição atmosférica.

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados por suas características físicas e químicas. De acordo com Assunção et al. (1999), os poluentes podem ser classificados em dois grandes grupos, material particulado e gases e vapores e, conforme a origem, podem ser classificados como primários ou secundários.

Poluentes primários são emitidos diretamente na atmosfera pelas fontes de emissão, como por exemplo, dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos (HC). Poluentes secundários são formados por meio da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera ou da reação de poluentes secundários com constituintes naturais da atmosfera, como por exemplo, ozônio (O_3), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), aldeídos (RCHO), peroxiacetilnitrato (PAN).

Gases e vapores são poluentes que ocorrem na forma molecular, podendo ser caracterizados como gases permanentes, como o dióxido de enxofre, o monóxido de carbono, o ozônio, os óxidos de nitrogênio ou, na forma transitória de vapor, como os vapores orgânicos em geral. O vapor orgânico contém nas suas moléculas, no mínimo, átomos de carbono e hidrogênio, como por exemplo, álcool etílico ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), éter etílico ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$), acetato de etila ($\text{H}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$), benzeno (C_6H_6), tricloroetileno ($\text{ClHC}=\text{CCl}_2$), entre outros. Os vapores ou gases ácidos, ao se dissolverem na água formam os ácidos, fazendo com que o seu pH permaneça abaixo de 7, como exemplos tem-se: cloro, ácido nítrico, óxidos nitrosos, entre outros. Gases ou vapores alcalinos, como por exemplo, amônia e aminas, ao se dissolverem na água, tornam o pH superior a 7.

Aerossóis

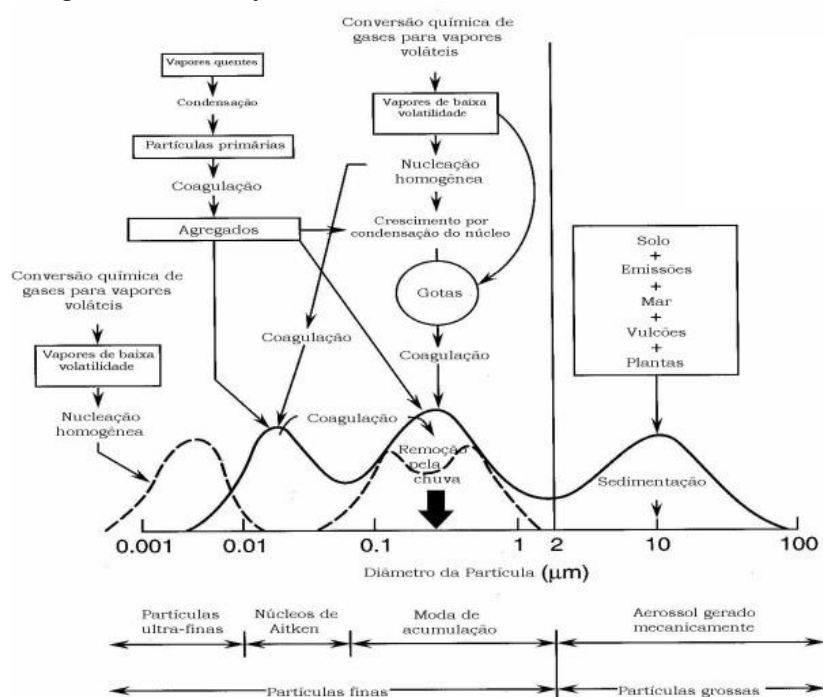
O material particulado abrange um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido e persistem suspensos na atmosfera devido à gravidade, possuindo vida relativamente curta, variando de minutos até semanas. Essa característica permite que seus efeitos e medidas mitigadoras tenham percepção rápida, configurando o controle de emissão de particulados como um modulador da qualidade do ar.

Segundo Mariani (2001), a formação de partículas atmosféricas constitui um dos mecanismos de remoção de dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e amônia (NH_3) da atmosfera. As partículas atmosféricas formadas a partir dessas

substâncias retornam à superfície da terra pela deposição seca, que se dá na ausência de chuva, ou por deposição úmida, quando transportados pela chuva.

Conforme Wallace et al. (1977), aerossóis atmosféricos são suspensões de partículas sólidas e ou líquidas, excluindo gotas de nuvem com velocidade terminal desprezível. De acordo com Castanho (2005), os aerossóis possuem distribuição vertical e horizontal heterogênea e sua dimensão varia de $0,01 \mu\text{m}$ até mais de $10 \mu\text{m}$ (Figura 3). Partículas com dimensões inferiores a essa faixa coagulam rapidamente, formando partículas maiores e as partículas com dimensões superiores a essa faixa sedimentam muito rápido (HOVARTH, 2000). Considerando que a maioria das partículas não é esférica, os diâmetros equivalentes são utilizados para caracterizar as propriedades das partículas. O diâmetro aerodinâmico é definido como o diâmetro de uma esfera hipotética de densidade igual a 1 g cm^{-3} , que possui a mesma velocidade de assentamento sob o regime de vento de calmaria, da partícula em questão, independentemente de seu tamanho, geometria e densidade real.

Figura 3 – Distribuição dos Aerossóis na atmosfera.



Fonte: Finlayson-Pitts e Pitts (2000).

Os processos naturais de geração do aerossol estão associados com a ação do vento no solo, nas rochas e no mar, com a emissão biogênica e com vulcões e queimadas. Esses processos mecânicos originam, em geral, os aerossóis primários. Processos

industriais e de queima de combustíveis, levam às emissões de gases que, na atmosfera, se convertem em material particulado de origem secundária (ANDRADE, 1993).

De acordo com Seinfeld e Pandis (1998) os aerossóis foram classificados conforme sua dimensão em dois grupos:

- 1) Partículas finas, com diâmetro aerodinâmico $< 2,5 \mu\text{m}$;
- 2) Partículas grossas, com diâmetro aerodinâmico $\geq 2,5 \mu\text{m}$ e $\leq 10 \mu\text{m}$.

A maioria das partículas biogênicas encontra-se na fração grossa, com diâmetros maiores que $2 \mu\text{m}$, sendo constituídas, principalmente, por fungos, esporos, fragmentos de folhas, bactérias, em uma enorme variedade de tipos de partículas. A composição destas partículas é dominada por material orgânico; com traços de potássio, cálcio, magnésio, enxofre, fósforo, zinco e outros (ARTAXO et al., 1990; 1994, 1995). Um grande número dessas partículas é solúvel em água, por isso, apresentam propriedades de nucleação de nuvens, atuando eficientemente como núcleo de condensação de nuvens (YAMASOE et al., 2000). Estas partículas podem afetar o balanço de radiação, pois têm tamanho da ordem do comprimento de onda da luz visível, o que as tornam eficientes espalhadores de radiação solar e a intensidade destes efeitos depende das propriedades físicas e químicas do aerossol.

As fontes de aerossol podem ser naturais (erupções vulcânicas, sal marinho, poeira) ou antrópicas (tráfego de veículos, termelétricas, queima de biomassa, atividades industriais, entre outras), como ilustrado na Figura 4. A análise química dos compostos presentes na estrutura dessas partículas permite estimar a natureza de sua fonte. Especialmente, podemos analisar a poluição do ar em escala global ou local. Em escala local, os problemas de poluição são identificados em uma região relativamente pequena, com uma extensão, no máximo, regional. Em escala global, toda a ecosfera é envolvida e é exigido um esforço mundial para controlar a poluição.

Segundo Mariani (2001), as partículas atmosféricas são classificadas quanto à constituição em:

- Constituintes iônicos (inorgânicos e orgânicos) solúveis em água, como por exemplo, NaCl , $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ e outros;

- Constituintes inorgânicos insolúveis em água, como por exemplo, óxidos de Fe e metais co-precipitados, entre outros;
- Carbono grafitico;
- Hidrocarbonetos, como por exemplo, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e outros;
- Matéria biogênica (pólen, fragmentos de vegetais, bactérias, entre outras).

Figura 4– Exemplos de fontes naturais de aerossol: poeira do deserto, compostos orgânicos voláteis naturais, queima de biomassa e erupção vulcânica.



Fonte: Autor (2014).

Entre os principais efeitos da poluição em escala global, destacam-se: o aumento da temperatura do planeta, reforçado pelo efeito estufa; a alteração da intensidade da radiação ultravioleta na superfície terrestre, causada pela depleção da camada de ozônio na estratosfera e o aumento da acidez das águas da chuva, que constitui a chuva ácida (BRAGA et al., 2002).

A distribuição global dos aerossóis depende de sua origem e constituição e, podem retornar à superfície da Terra, por deposição seca realizada pelo vento, ou por deposição úmida, quando ocorre a remoção do material particulado da atmosfera pela chuva ou orvalho (Figura 5).

De acordo com Yamasoe (1999) pode ocorrer um forçamento radiativo negativo, quando um evento emite um grande volume de partículas, como no caso da erupção vulcânica, quando as partículas chegam à estratosfera, onde não sofrem a ação das chuvas, podendo levar a ocorrência de um fenômeno conhecido como “dimming” ou escurecimento global, onde sua vida útil pode ser expandida por alguns meses.

Figura 5– Emissão, transporte e deposição de aerossóis.



Fonte: Shao (2008).

Meteorologia da poluição atmosférica

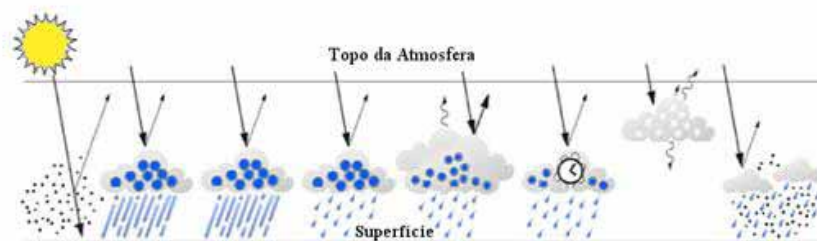
Pesquisas investigam se existe relação entre os aerossóis e as alterações do ciclo hidrológico, e a possível contribuição para a ocorrência dos eventos de estiagem que, historicamente, vitimaram a humanidade. As mudanças no regime de chuvas são devidas à alteração no processo de formação de nuvens e gotas de chuva. Assim, com o aumento das partículas de poeira, que podem competir pelas moléculas de água, ocorre a redução da possibilidade de crescimento das gotas, impedindo o amadurecimento e a consequente precipitação das mesmas (Figura 6). Quando os índices pluviométricos são diminuídos, ocorre aumento das secas e das queimadas que, em cadeia, aumentam a quantidade de material particulado presente na atmosfera e a concentração de CO₂, agravando o efeito estufa, que causa a elevação da temperatura ambiental, numa ação cíclica.

A precipitação é proveniente do vapor d'água atmosférico e pode ser depositada na superfície terrestre por meio do granizo, neblina, geada, neve, orvalho ou chuva. De acordo com o relatório do IPCC, 2007. Há indícios de que a precipitação se apresente relevante nos estudos de material particulado e radiação solar global, pois remove o particulado presente na atmosfera e provoca o processo de deposição úmida do material particulado, reduzindo o seu tempo de vida, num fenômeno globalmente conhecido como *washout*. Por outro lado, as condições de estabilidade na ausência de chuvas dificultam a dispersão dos poluentes atmosféricos.

Segundo Echer et al. (2011), na condição solar de céu limpo a radiação é pouco atenuada se compararmos com a atenuação sofrida em condições de céu encoberto ou parcialmente encoberto. A ocorrência de chuvas permite inferir que a nebulosidade tenha sido incrementada sugerindo um obstáculo à radiação solar. Além disso, o vapor d'água presente na elevada umidade atmosférica decorrente da precipitação, pode absorver e espalhar a radiação caracterizando-se como forçante negativa à radiação solar de superfície.

A precipitação acumulada mensal representa o volume total em milímetros (mm) de chuva ocorrido durante o período de um mês.

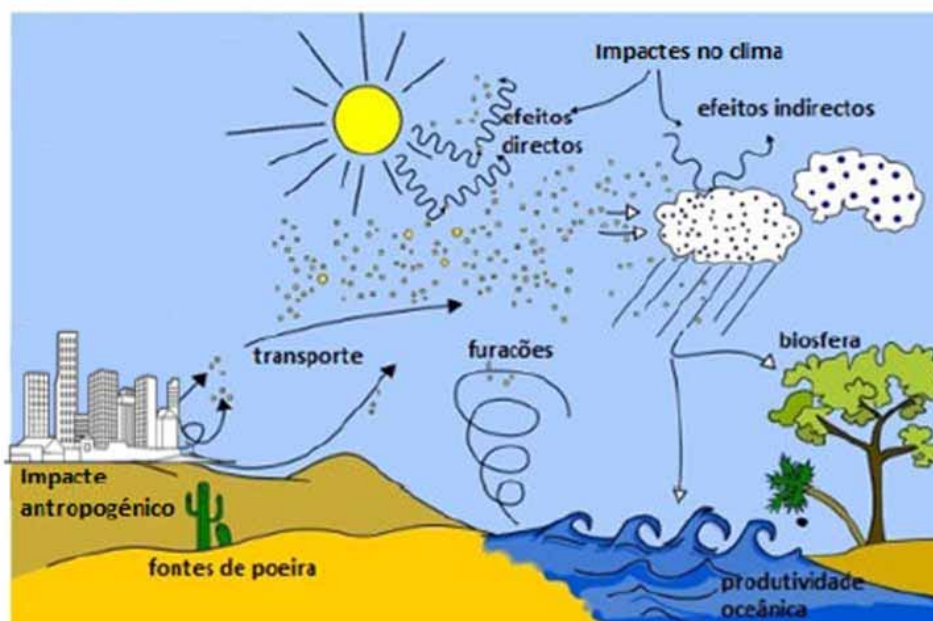
Figura 6– Formação e crescimento das gotículas das nuvens em relação aerossóis.



Fonte: Modificado de IPCC (2007).

Uma mesma fonte de poluição atmosférica pode gerar diferentes impactos, variando com a topografia, com a diversidade do uso do solo e com as condições atmosféricas, que afetam a CLP, região onde ocorre a maioria dos fenômenos atmosféricos e também a dispersão de poluentes (Figura7).

Figura 7– Impactos diretos e indiretos dos aerossóis na atmosfera.



Fonte: Adaptado de http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/SDS_WAS_background.html.

A meteorologia da poluição atmosférica associa a poluição às condições atmosféricas. As transformações químicas, a remoção, a diluição e a geração de poluentes são proporcionais às condições meteorológicas e são determinantes para o tempo de permanência na atmosfera, para a deposição e para o impacto ambiental (LYONS; SCOTT, 1990). Efeitos mecânicos e térmicos atuam sobre os poluentes atmosféricos.

O conhecimento do balanço de energia é fundamental para os estudos de radiação e também para o entendimento das condicionantes térmicas de circulação atmosférica. A radiação solar afeta indiretamente a concentração dos poluentes, atuando, por exemplo, sobre a termodinâmica atmosférica, o escoamento superficial e as variações da altura da CLP. Uma das mais conhecidas condicionantes da concentração de poluentes são as ilhas de calor urbanas.

A presença de edifícios, serras, montanhas, representam condicionantes mecânicas à circulação atmosférica, induzindo turbulência nessa circulação, afetando também a concentração de poluentes, sendo responsáveis pelas ondas de Lee (circulações mecanicamente forçadas, que se formam na base de montanhas) e pequenos vórtices turbulentos abaixo de edificações (STULL, 1988).

3.4 RADIAÇÃO

Em plantas solares, a previsão da produtividade permite o cálculo do custo da energia gerada e a gestão sustentável. Estratégias operacionais baseadas no conhecimento do recurso disponível permitem que, em sistemas híbridos de geração de energia, as modalidades de geração se alternem de forma complementar, conforme a disponibilidade de recursos, diversificando a matriz energética.

O monitoramento da radiação solar ocorre na seleção de áreas ideais para implantação de empreendimentos geradores de energia solar, nos testes operacionais e na inferência da produtividade e desempenho da planta operacional, permitindo identificar possíveis degradações da instalação e seus componentes, acionando a manutenção mais delicada ou a simples lavagem dos módulos fotovoltaicos, tubos coletores e outros. A radiação que chega à superfície terrestre é resultante da irradiação solar em interação com a química e a física da atmosfera e da própria superfície terrestre.

A radiação solar global é a variável solarimétrica resultante da radiação solar direta somada à radiação solar difusa incidente na superfície. Enquanto a radiação solar direta é influenciada pelas oscilações da radiação extraterrestre, variando em função da latitude, hora do dia, dia do mês e do ano, a radiação difusa depende das partículas na atmosfera, da nebulosidade, dos gases na atmosfera, entre outros fatores em estudo. A medida de radiação solar global corresponde à quantidade de radiação incidente por unidade de área e unidade de tempo, expressa pela unidade de potência W m^{-2} . Em engenharia elétrica, para fins de uso em geração fotovoltaica ou solar térmica, é utilizado o Wh m^{-2} .

3.4.1 Modelo Global

O modelo de radiação global (GL), desenvolvido por Ceballos et al. (2004b), avalia a irradiância solar média diária para a região da América do Sul, a partir de imagens do canal visível do satélite Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES), com resolução de $0,04^\circ \times 0,04^\circ$, o que representa uma média em $0,12^\circ \times 0,12^\circ$ aproximadamente. A versão do 1.2 do modelo apresenta desvio médio mensal igual ou

inferior a $\pm 10 \text{ W m}^{-2}$ e desvio padrão dos dados mensais inferior a 20 W m^{-2} , em condições de carga de aerossol fraca.

Durante o dia, a Terra recebe radiação solar e, sob uma cobertura de nuvens e partículas suspensas, uma parte da radiação é absorvida pelos continentes e corpos d'água e o restante é devolvido ao espaço. A proposta do modelo GL é estimar a irradiância global à superfície (G), com base na irradiância emergente no topo da atmosfera (E_p), como ilustra a Figura 8. É um modelo físico que propõe relações entre o fluxo no topo e na superfície, a partir dos parâmetros de entrada: água precipitável; pressão atmosférica; refletância mínima; refletância máxima; albedo da base das nuvens (canal visível e infravermelho); albedo da superfície no canal infravermelho e massa de ozônio.

Figura 8 – Absorção e reflexão da radiação solar na atmosfera, conforme o modelo GL.



Fonte: Galvão (2008).

Conforme Ceballos et al. (2004), na saída do modelo tem-se duas variáveis: radiação global, e radiação UV+VIS. O modelo não considera o efeito dos aerossóis e sugere que o espectro solar seja fracionado com apenas dois intervalos espectrais de banda larga:

- Ultravioleta + visível;
- Infravermelho próximo.

Este modelo considera um balanço de irradiâncias, onde a radiação solar é refletida para o espaço e absorvida pela atmosfera com as seguintes características:

- Absorção no UV na estratosfera (altura superior a 18 km);
- Troposfera conservativa (nuvens não absorvem no UV+VIS).

O balanço de radiação para o intervalo UV + VIS e para o intervalo IV é dado por:

$$\mu_0.S_{vis} = E_{Svis} = E_{pvis} + A_3 + (1 - R_{svis}.G_{vis}),$$

Em que:

μ_0 = cosseno do ângulo zenital solar Z.

S_{vis} : fluxo solar (UV+VIS) no topo da atmosfera.

E_{Svis} = Irradiância Incidente no topo da atmosfera no comprimento de onda visível.

E_{pvis} = Irradiância Emergente no topo da atmosfera no comprimento de onda visível.

A_3 = Absorção da radiação na atmosfera.

R_{svis} = refletância do solo no comprimento de onda visível.

G_{vis} = irradiância global à superfície no comprimento de onda visível.

Considerando que a dispersão Rayleigh é desprezível no IV, a interação da radiação solar com a atmosfera é limitada a:

- Radiação direta que ultrapassa as nuvens;
- Radiação direta absorvida pelo H₂O e CO₂;
- Alta absorção e reflexão por nuvens, com transmitância desprezível;
- Reflexões múltiplas entre solo e base de nuvens.

Nas equações do modelo GL, a nebulosidade controla de forma implícita a componente UV+VIS, e explicitamente a componente IV.

A nebulosidade é avaliada como:

$$C = (R - R_{min}) / (R_{max} - R_{min})$$

Em que:

R = refletância;

R_{min} = refletância mínima e;

R_{max} = corresponde à refletância máxima.

Na presença de nuvens com grande desenvolvimento vertical, podemos considerar a nebulosidade máxima com C equivalente à unidade ($C=1$).

Segundo Bottino (2004), erros consideráveis, relacionados à medidas de superfície, podem ser esperados em regiões com poluição urbana intensa ou incêndios florestais, bem como, em áreas industriais, para condições de escassa nebulosidade.

3.5 O SENSOR MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER – MODIS

Os Satélites Terra e Aqua estão em órbita heliossíncrona a uma altitude de, aproximadamente, 713 km, sobre a região do Equador. O sensor MODIS é um dos instrumentos a bordo dos satélites Terra e Aqua e circula 16 vezes ao dia, em torno do globo terrestre, de polo a polo, cruzando o Equador às 07h30min em nodo descendente (Terra) e 10h30m (horário de Brasília), cruza o Equador em nodo ascendente (Aqua).

Segundo Justice et al. (2002), o sensor MODIS foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para estes objetivos e uma cobertura global quase diária (1 a 2 dias).

É constituído de um instrumento eletro-óptico de varredura mecânica (Whiskbroom), que utiliza o movimento do satélite para fornecer uma imagem na direção de voo (along track). A radiação eletromagnética (REM) refletida ou emitida da superfície terrestre é direcionada para um telescópio pela rotação de um espelho de duas faces. O espelho produz um movimento de imageamento across-track e acerca de 1,47 segundos, ocorre o movimento de meia revolução, a energia é então, focada para os diferentes detectores cobertos por estreitos filtros espectrais, dos quais são obtidas as medidas das 36 bandas espectrais (0,41 a 14 μm) em três diferentes resoluções espaciais (250 m, 500 m e 1 km). Os canais espectrais do MODIS utilizados na análise de partículas de aerossóis são os canais 0,47; 0,66; 2,1 e 3,8 μm , sendo que os dois últimos canais são utilizados para a determinação da refletância da superfície. O total de bandas espectrais corresponde às respectivas faixas (nm): 620-670, 841-876, 459-479, 545-565, 1230-1250, 1628-1652, 2105-2155 como pode ser observado na Tabela 2.

Por meio da detecção remota é possível obter vários parâmetros, conforme os algoritmos elaborados para a medição destes. Os aerossóis podem ser avaliados por vários parâmetros, entre estes, a espessura óptica do aerossol (EOA) foi selecionada, pois pode causar maior impacto sobre a radiação solar. Por meio da EOA é possível caracterizar a dispersão dos aerossóis numa coluna vertical na atmosfera e, com isso, avaliar o forçamento radiativo direto das partículas de aerossol. Esse forçamento

dependerá da concentração mássica, do tamanho e das propriedades físico-químicas do aerossol (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Tabela 2– Especificações das Bandas 1 a 19 do sensor MODIS.

Uso Primário	Banda	Largura de Banda (nm)	Resolução Espacial	SNR*
Superfície	1	620-670	250	128
terrestre/nuvem	2	841-875	250	201
Propriedades	3	459-479	500	243
da	4	545-565	500	228
Superfície/nuvem	5	1239-1250	500	74
	6	1628-1652	500	275
	7	2105-2155	500	110
	8	405-420	1000	880
	9	438-448	1000	838
Cor dos	10	483-493	1000	802
Oceanos/Fitoplâncton/	11	525-536	1000	754
Bioquímica	12	546-556	1000	750
	13	662-672	1000	910
	14	673-683	1000	1087
	15	743-753	1000	586
	16	862-877	1000	516
Vapor d'água	17	890-920	1000	167
Atmosférico	18	931-941	1000	57
	18	915-965	1000	250

Fonte: Anderson et al. (2003).

Uma das peculiaridades do sensor MODIS é a detecção da cobertura de nuvens, permitindo determinar o impacto das nuvens no balanço energético terrestre (STRAHLER et al., 1999).

A análise dos dados do sensor MODIS é realizada pelo aplicativo GIOVANNI, um acrônimo para GES DISC Interactive Online Visualization And Analysis Infrastructure, uma página da web desenvolvida pelo Centro Goddard de Informações e Serviços de Dados referentes às Ciências da Terra (GES – DISC), vinculado à NASA. Segundo Acker et al. (2007), o GIOVANNI fornece uma interface simples, que permite a descoberta de dados ambientais e suas visualizações (http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=MODIS_DAILY_L3).

Entre os produtos analisados nesse aplicativo, estão os relacionados aos aerossóis no comprimento de onda de 550nm, com resolução espacial de 1,0 x 1,0 graus (100 km), disponibilizados com os níveis de processamento, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3– Níveis de dados MODIS.

Nível de Processamento	Características dos Dados
Nível 0	Dados brutos na resolução total, sem as informações de comunicação.
Nível 1	Dados do Nível 0 que foram calibrados utilizando coeficientes radiométricos e geométricos, e informações de geolocalização.
Nível 2	Variáveis geofísicas derivadas na mesma resolução e localização dos dados de Nível 1.
Nível 3	Variáveis mapeadas em grades igualmente espaçadas, com preenchimento consistente.
Nível 4	Saídas de modelos ou resultados de análises de dados de Níveis mais baixos.

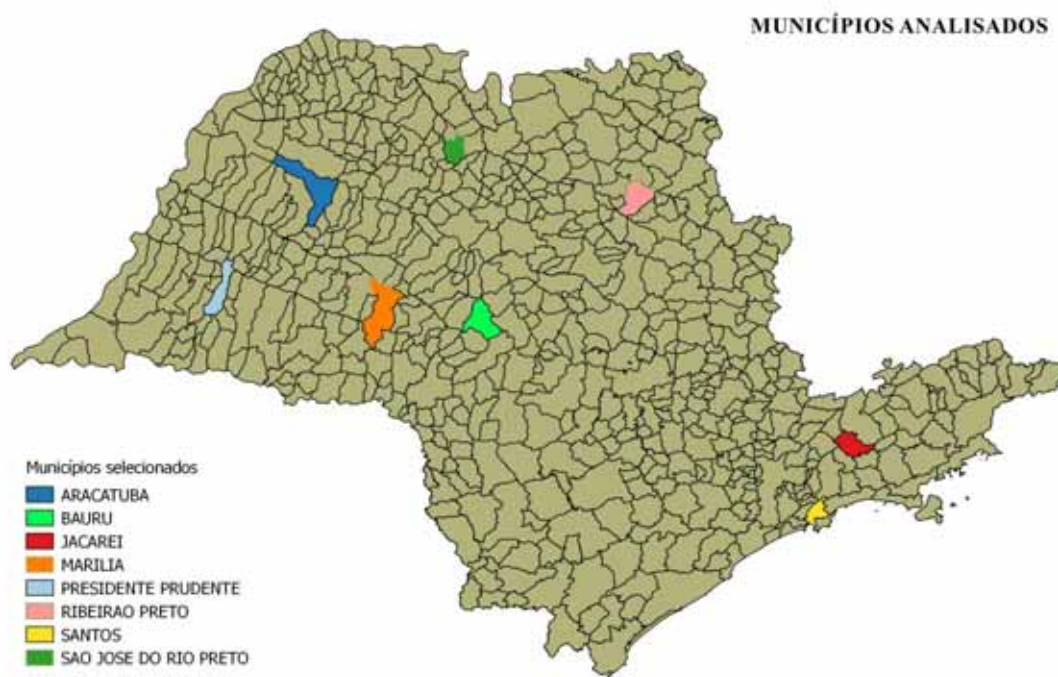
Fonte: Justice et al. (2002).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA ESTUDADA

Neste estudo foram selecionados oito municípios do interior e do litoral do estado de São Paulo: Araçatuba, Bauru, Jacareí, Marília, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, Santos e São José do Rio Preto (Figura 9).

Figura 9– Localização dos Municípios avaliados do Estado de São Paulo.



Fonte: Autor (2014).

Os critérios para seleção destes municípios foram:

- Disponibilidade de dados oficiais de superfície para material particulado (MP_{10}) e radiação global;
- Continuidade das séries temporais;

- Diversidade de cenários ambientais, com possibilidade de obtenção de respostas diversas diante da heterogeneidade da topografia, do clima e do uso e ocupação do solo (região produtora de cana) ;
- Representatividade das regiões administrativas ou bacias aéreas, destacando que a abrangência das medidas coletadas é restrita aos limites municipais (regiões de vale e litoral).

4.2 VARIÁVEIS ANALISADAS

Este estudo utilizou um conjunto de variáveis climatológicas e ambientais provenientes de diferentes fontes, tais como, estações meteorológicas, estações ambientais e de sensoriamento remoto. Dados complementares foram compilados, utilizando informações estatísticas de órgãos de pesquisa como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Monitoramento da Cana-de-Açúcar por Imagens de Satélite (CANASAT)

As variáveis meteorológicas e ambientais utilizadas neste estudo foram: volume de precipitação; radiação solar incidente à superfície e de poluição atmosférica.

4.2.1 Precipitação

Os dados de precipitação acumulada mensal, utilizados nesse trabalho, foram fornecidos pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), que possui um dos maiores acervos do Brasil, contendo medidas meteorológicas do Estado de São Paulo desde 1890, somando até 2013, 131 estações meteorológicas automáticas. No presente trabalho, foram utilizados os volumes mensais de precipitação acumulada de 2011 a 2013, assim como as “Normais Climatológicas”, que obedecendo a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), baseiam-se nos dados de precipitação de 30 anos. Os Dados de climatologia foram fornecidos pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI), disponíveis em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>.

4.2.2 Radiação

Neste estudo foram utilizadas duas fontes de dados de radiação solar à superfície: dados observacionais de estação solarimétrica e estimados pelo modelo GL desenvolvido por Ceballos et al. (2004b). Os dados observacionais horários, diários e as médias mensais, foram obtidos das estações de qualidade do ar da CETESB, dotadas de instrumentação radiométrica compatível com o piranômetro CM5 da empresa Kipp & Zonen, com elemento sensível do tipo pilha termoelétrica, que é formada por pares de termopares em série. Esses termopares geram uma tensão elétrica proporcional à diferença de temperatura entre suas juntas. As juntas se encontram em contato térmico com placas metálicas que se aquecem com a iluminação e são calibrados para decodificarem a radiação incidente. Esses equipamentos possuem precisão na faixa de 2 a 5%, dependendo do tipo utilizado. Também foram utilizados dados do modelo GL para estimar a radiação solar global e comparados com os dados obtidos na instrumentação radiométrica de superfície.

O modelo GL é um modelo físico utilizado pelo CPTEC desde 2002 e as estimativas são obtidas a partir dos valores de refletância do canal visível do satélite GOES para a América do Sul. A saída do modelo permite que sejam geradas imagens com resolução de $0,04^\circ$ e dimensão de 1800 por 1800 pixels. Os dados foram disponibilizados no formato binário, contendo informações de toda a América do Sul, sendo as estimativas para os municípios selecionados extraídas e convertidas para o formato txt, por meio de um código implementado para a ferramenta GRADS (Grid Analysis and Display System), que é um sistema de uso livre para a visualização e análise de dados em pontos de grade. Por se tratar de saídas de estimativa da radiação, os dados faltantes não foram interpolados.

4.2.3 Dados de Material Particulado de Superfície

Entre as variáveis de poluição atmosférica foram utilizados o material particulado (MP_{10}) e a espessura óptica do aerossol (EOA_{550}). Os dados de material particulado com

diâmetro aerodinâmico menor que 10 μm (MP_{10}) foram fornecidos pelas estações da CETESB dos municípios estudados. A continuidade das medidas e a possibilidade de expandir a análise a outros contaminantes atmosféricos, além da oficialidade dos dados, foram determinantes na seleção dos municípios e da utilização da base de dados da CETESB. Os dados de MP_{10} são horários e obtidos por medida direta por meio de raios beta. A medida se dá por meio de uma fonte altamente energética, contendo Carbono 14, que emite constantemente feixe de elétrons sobre uma fita não contaminada pela poluição de particulados, utilizadas como referência para a medida real. A medida real ocorre mediante a sucção do material grosseiro por uma bomba, onde é depositado sobre uma fita. A fita contaminada é exposta à radiação beta e a atenuação em relação à medida referência é utilizada para decodificar a medida física real para uma indicação analógica ou digital, da concentração de MP_{10} . Foram traçados gráficos das médias mensais com o objetivo de caracterizar a variação da concentração do poluente durante o ano e avaliar o impacto da sazonalidade e o relacionamento com outras variáveis, especialmente com a radiação solar global. Além disso, por meio dos gráficos, foi possível observar a variação interanual da concentração e comparar os patamares alcançados nos municípios.

A espessura óptica do aerossol de 550 nm (EOA_{550}) é uma propriedade óptica do aerossol, que permite avaliar a transmissividade atmosférica. No presente trabalho a EOA_{550} foi obtida por meio do aplicativo GIOVANNI, da NASA, com dados oriundos do sensor MODIS, mediante, no máximo, duas visadas por dia. A precisão na determinação da EOA_{550} com o MODIS é de cerca de $\pm 0,05 \pm 0,15\tau$ sobre continentes e $\pm 0,03 \pm 0,05\tau$ sobre oceanos, considerada validada e compatível com outros instrumentos a bordo de outros satélites. Os produtos do MODIS são gerados e classificados, conforme o nível de tratamento que o distancia dos dados brutos obtidos inicialmente após a ingestão dos dados do satélite. A medida da EOA_{550} , expressa a quantidade de material absorvedor e espalhador (o aerossol) opticamente ativos, encontrados no trajeto descrito pelo feixe de radiação solar e é uma quantidade adimensional. Os efeitos da radiação captados pelo sensor MODIS são, em maioria, devidos à refletividade da superfície e ao espalhamento na atmosfera causado por seus componentes. Para detectar o efeito do aerossol sob essa radiação de onda longa da superfície e da atmosfera e estimar suas propriedades, é necessário descontar inicialmente esses outros efeitos majoritários da superfície.

4.2.4 Dados Complementares

Algumas variáveis complementares, como o uso e ocupação do solo e estatísticas de colheita de cana de açúcar foram utilizadas. Há indícios (Artaxo et al., 1998), que a distância da fonte e a localização da estação medidora de MP_{10} possa comprometer a representatividade regional das medidas obtidas em superfície, alterando as concentrações, a distribuição por tamanho e as composição química das partículas atmosféricas e por isso é relevante à localização da estação de monitoramento da qualidade do ar no contexto regional das medidas obtidas. A localização das estações deve ser livre de obstáculos e em locais seguros evitando ações de vândalos ou roubos. O que explica a localização em locais específicos, como Hospitais, Universidades, Colégios, entre outros (Tabela 4).

Tabela 4– Localização das Estações de Qualidade do Ar nos Municípios Analisados.

Município	Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar
Araçatuba	Bairro: Dona Amélia - campus da UNESP (Universidade Estadual Paulista)
Bauru	Bairro: Vila Falcão - Corpo de Bombeiros
Jacareí	Bairro: Jardim Pereira do Amparo - Colégio Técnico Rural
Marília	Bairro São Miguel - UBS (Unidade Básica de Saúde) “Dr. Simão de Andrade Ribeiro”
Presidente Prudente	Rua Alberto Simonsen, 305 - Proximidades da estação meteorológica da Universidade Estadual Paulista
Ribeirão Preto	Bairro Ipiranga - Escola Estadual Edgardo Cajado
Santos	Bairro Boqueirão - Hospital Guilherme Álvaro (HGA)
São José do Rio Preto	Bairro Eldorado - Centro Esportivo do bairro

Fonte: CETESB.

4.2.5 Localização e Relevo

- Marília está localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio do Peixe, no planalto ocidental Paulista, tendo a agropecuária como atividade prioritária, posicionada sobre uma região tabuliforme, o Planalto regional de Marília. Na Figura 10 pode ser observado o relevo de Marília, no primeiro plano relevo colinoso e na baixada do planalto, ao fundo, as escarpas do planalto de Marília.

Figura 10– Relevo de Marília.



Fonte: Bezerra et al. (2009).

- Bauru está localizado à noroeste do Estado de São Paulo, na Unidade de Gerenciamento Hídrico do Tietê/Jacaré. O relevo do município é predominantemente ondulado e a pluviosidade é maior nos períodos de outubro a março, no restante do ano, o clima é seco, configurando a existência de basicamente duas estações, uma seca e outra chuvosa, (FIGUEIREDO et al., 2010).

- Jacareí está localizada na unidade federativa do estado de São Paulo, na região do Vale do Paraíba, distante 80 km da cidade de São Paulo e a 350 km do Rio de Janeiro, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul, totalizando uma área de 463 Km². Limita-se ao norte com os municípios de Igaratá e São José dos Campos, ao Sul com Santa Branca e Guararema, a Leste com Jambeiro e a Oeste com Guararema e Santa Isabel. O escudo cristalino e a bacia sedimentar formam o relevo do

Vale do Paraíba. Na região estão posicionadas a Serra do Mar, a Serra da Mantiqueira e o Vale do Paraíba do Sul, unidade de relevo que dá nome à região, cortada pelo Rio Paraíba do Sul (Soares et al., 2012). As Serras da Mantiqueira e do Mar formam barreiras orográficas e a região está sujeita a muitos fenômenos atmosféricos e uma intensa dinâmica climática.

- Presidente Prudente está localizado no Planalto Ocidental Paulista na Unidade do Gerenciamento Hídrico do Paranapanema. Em geral, apresenta relevo constituído por colinas extensas suavemente onduladas, com altitudes que variam de 300 a 600 metros e declividades entre 10 a 20% (FUSHIMI, 2012).

- Ribeirão Preto é uma unidade vocacional “em industrialização”, possuindo elevado índice populacional, aumentando sua população em 44.442 pessoas de 2011 a 2013. Localiza-se na Unidade de Gerenciamento Hídrico do Rio Pardo, em um Planalto da região Norte-Nordeste de São Paulo, com pequenos declives.

- Santos está localizado na Unidade e Gerenciamento Hídrico da Baixada Santista, no litoral do Estado de São Paulo e é um município portuário classificado pela CETESB como unidade vocacional industrializada. A população estimada do município em 2013 é de 433.153 pessoas, segundo o IBGE (2013) com uma frota de veículos de 176.080 (CETESB), é um município turístico, o que faz com que o número de veículos e de pessoas aumente em períodos de temporada, feriados e finais de semana.

- Araçatuba está localizada na região oeste do Estado de São Paulo e possui o principal terminal sucroalcooleiro do estado, pois construiu um porto para transporte de etanol e grãos pela hidrovia (Tietê-Paraná). Este município está localizado na Unidade de Gerenciamento Hídrico do Baixo Tietê e o relevo do município é predominantemente plano, com uma população estimada de 190.536 pessoas (IBGE, 2013).

- São José do Rio Preto está localizado na região Noroeste do Estado de São Paulo, na Unidade de Gerenciamento Hídrico do Turvo/Grande. A estação de monitoramento da qualidade do ar da CETESB está localizada no Centro Esportivo do bairro Eldorado, na região Norte da cidade.

O uso e ocupação do solo foi um critério para a seleção dos municípios a serem analisados, estes possibilitam definir as atividades econômicas prioritárias, que estão conectadas aos tipos de fonte poluidora presentes nos municípios. Dessa forma, a

classificação de unidade vocacional atribuída pela CETESB representa a atividade prioritária do município selecionado classificando-o como: em industrialização, industrial ou agropecuário (Tabela 5). Na mesma tabela é possível visualizar os dados populacionais, e de emissão móvel de MP₁₀, presentes nesse estudo, para subsidiar análises de detecção do potencial antrópico de impacto na qualidade do ar.

Tabela 5– População, Atividade Econômica Prioritária e Emissões Móveis de MP₁₀.

Município	População (IBGE, 2013)	Unidade Vocacional	Emissões móveis
			2011 a 2013 de MP₁₀ (t ano⁻¹)
Araçatuba	190.536	Agropecuária	0,13
Bauru	362.062	Em industrialização	0,15
Jacareí	223.064	Industrializada	0,09
Marília	228.618	Agropecuária	0,11
Presidente Prudente	218.960	Agropecuária	0,12
Ribeirão Preto	649.556	Em industrialização	0,26
Santos	433.153	Industrializada	0,17
São José do Rio Preto	434.039	Agropecuária	0,24

Fonte: IBGE (2013) e CETESB (2011, 2012, 2013).

4.2.6 Colheita da cana de açúcar

Segundo Zancul (1998), o material particulado proveniente da queima de palha de cana, pode chegar a 285 t dia⁻¹.

Historicamente, a colheita de cana de açúcar era processada manualmente e os processos tradicionais de colheita mecânica ou manual, utilizavam a queima prévia, onde somente os colmos são aproveitados. As técnicas aplicadas à colheita estão mudando devido às restrições legais e ambientais, além da demanda por aproveitamento do palhço para geração de energia e outras aplicações na agricultura. Segundo Rudolf (2010), a entrada dos automóveis “flex” no mercado consumidor brasileiro em 2003, causou a expansão de áreas cultivadas com cana de 2.570.000 ha em 2003 para 4.450.000 ha em 2008. A mudança no uso da terra ocorreu rapidamente, substituindo pastagens e outras culturas. Com o crescimento da demanda de cana, a colheita com queima foi reduzida, especialmente em resposta à legislação. Podemos observar na Tabela 6 o comportamento do cultivo e colheita da cana de açúcar nos municípios selecionados.

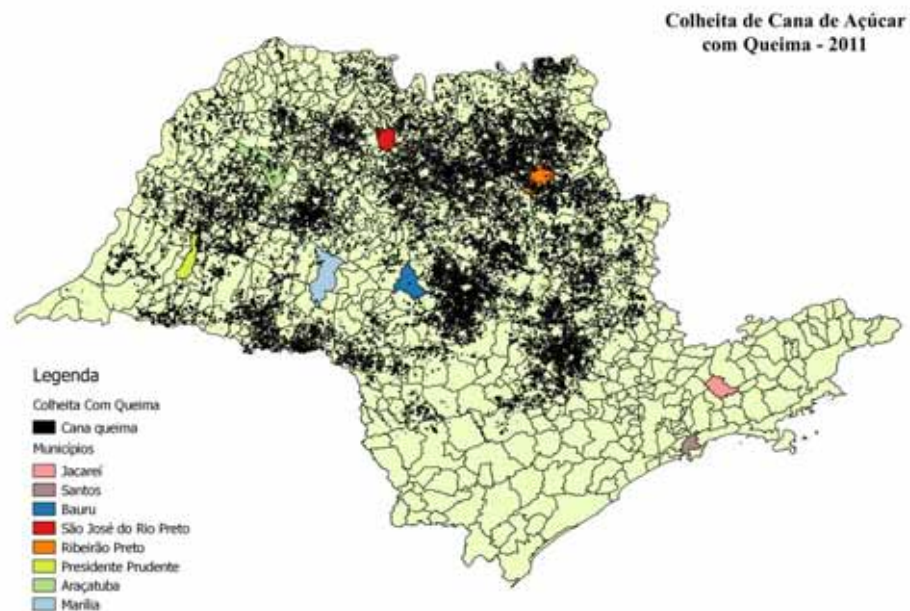
Tabela 6– Evolução do Cultivo e Coleita de Cana com Queima em 2011 e 2012.

Município	Área Total do Cultivo em 2011 ha	Área Total do Cultivo em 2012 ha	Percentagem de colheita com queima em 2011	Percentagem de colheita com queima em 2012
Araçatuba	33765	30368	28,7	22,4
Bauru	797	923	48,9	30,5
Jacareí	-----	-----	-----	-----
Marília	3527	2862	32,3	21,4
Presidente Prudente	6950	7039	40,04	37,9
Ribeirão Preto	27850	26818	27,8	27,7
Santos	-----	-----	-----	-----
São José do Rio Preto	5479	5186	18,3	11,3

Fonte: CANASAT (2014).

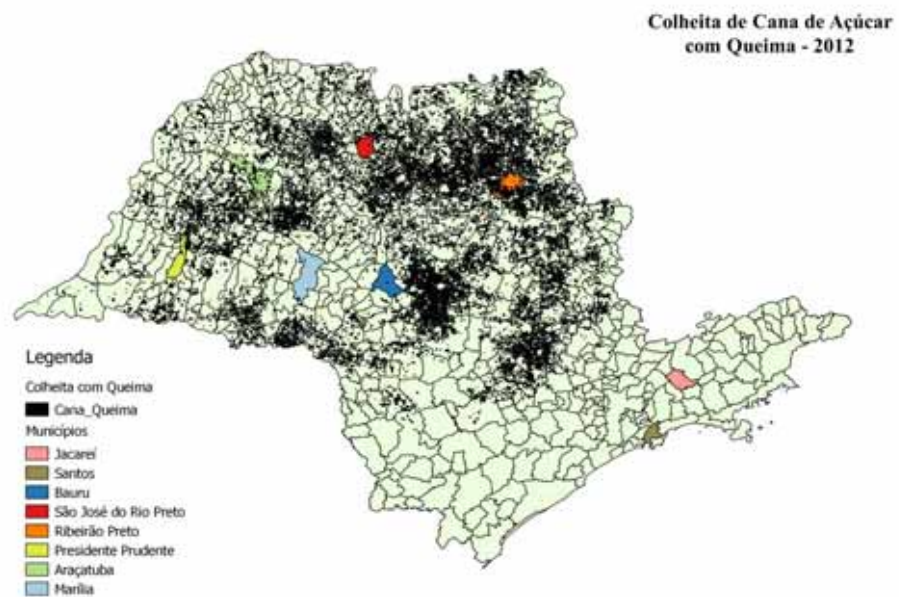
Entre os municípios analisados nesse estudo, têm atividade sucroalcooleira, com a presença de áreas de cultivo da Cana: Araçatuba, Bauru, Marília, Ribeirão Preto, Presidente Prudente e São José do Rio Preto. Os dados apresentados nas figuras 11 a 13 são provenientes do Projeto CANASAT, que utiliza imagens de satélite para monitorar a colheita da cana e anualmente ocorre o mapeamento, utilizando imagens dos satélites CBERS, Landsat e Resourcesat, por meio de um projeto criado pelo INPE com o apoio da “ÚNICA”, empresa de cana de açúcar .

Figura 11– Colheita da Cana de Açúcar com Queima em 2011.



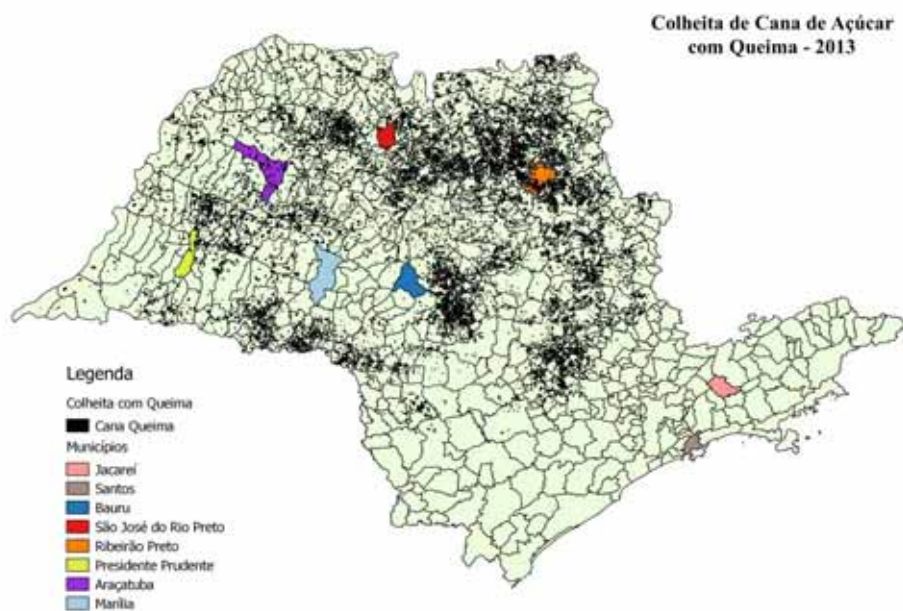
Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2011).

Figura 12– Colheita da Cana de Açúcar com Queima em 2012.



Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2011).

Figura 13- Colheita da Cana de Açúcar com Queima em 2013.



Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2011).

Podemos observar na análise espacial das figuras 11 a 13, uma gradativa redução da colheita com queima, em função do Protocolo Agroambiental assinado pelos municípios sulcroatoleiros em 2007, que previa o fim da queima da cana em 2014, em áreas mecanizáveis e em 2017, em áreas não mecanizáveis. O Protocolo Agroambiental foi um acordo entre o governo do Estado de São Paulo, representado pelas Secretarias do Meio Ambiente e da Agricultura e Abastecimento, com o Setor Sucroenergético, representado pela União da Indústria da Cana de Açúcar. Segundo a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SISTEMA AMBIENTAL PAULISTA, 2014), além da eliminação da queima da palha da cana, esse protocolo pretende alcançar a proteção dos remanescentes florestais de nascentes e de matas ciliares, o controle das erosões e melhores práticas de uso do solo, o adequado gerenciamento das embalagens de agrotóxicos, além da redução de consumo de água na etapa industrial.

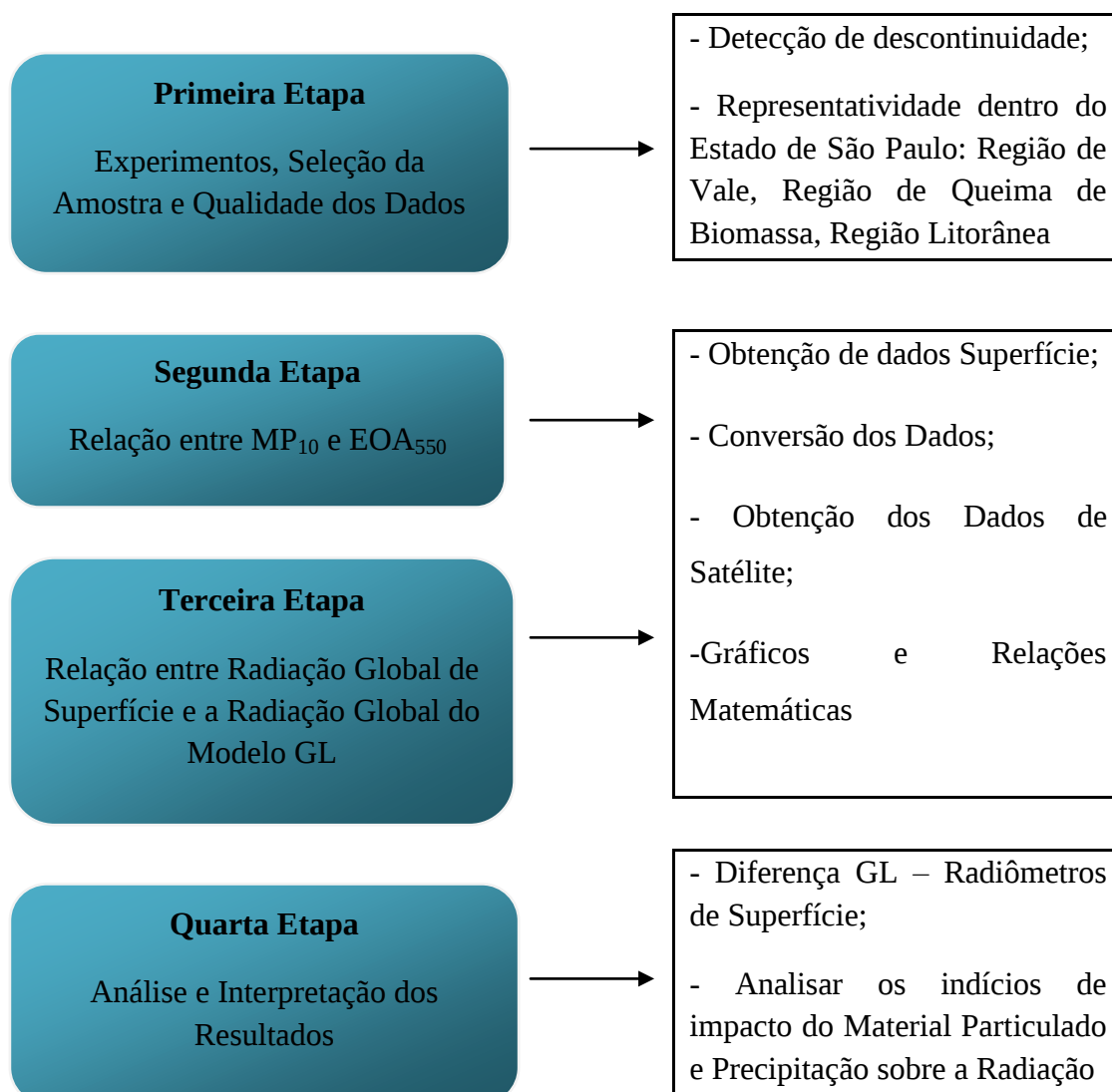
Em geral, segundo o projeto CANASAT, os municípios analisados no presente trabalho, cumpriram as metas anuais de redução da colheita de cana com queima, no período de 2011 a 2012. Apesar de cumprirem a meta de redução, em municípios como Ribeirão Preto a redução da área de colheita com queima foi pequena passando de 7.739 ha em 2011 para 7.424 ha em 2012. Outros municípios como Marília, apresentaram relevante redução na área de colheita com queima, passando de 1.140 ha em 2011 para 614 ha em 2012.

4.3 METODOLOGIA

O presente trabalho relaciona dados de superfície e de sensoriamento remoto, visando ampliar o conhecimento sobre o potencial do recurso solar em municípios paulistas, considerando o impacto dos aerossóis atmosféricos na radiação global terrestre. Para isso foi analisada a potencial influência das variáveis precipitação e material particulado ou aerossol e de outras variáveis complementares relacionadas ao uso e ocupação do solo na quantidade de radiação solar global incidente na superfície terrestre, nas regiões do interior e no Litoral do Estado de São Paulo. Este capítulo apresenta a metodologia adotada para obtenção deste objetivo, dividida em etapas descritas a seguir e visualizada resumidamente na Figura 14:

- 1 – Seleção dos municípios avaliados, considerando a representatividade climática, continuidade da amostragem das variáveis, atividade econômica prioritária, confiabilidade da fonte e pertinência ao objetivo principal.
- 2 – Estabelecimento de relações entre as variáveis de superfície de material particulado moda grossa (MP₁₀) e EOA₅₅₀:
 - Processamento dos dados horários das estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB – parâmetro MP₁₀ para o período de 2011 a 2013;
 - Processamento dos dados de satélite para a variável EOA₅₅₀;
 - Gráficos e relações matemáticas entre as variáveis principais (MP₁₀ e EOA₅₅₀) e complementares (precipitação, estatísticas da colheita de cana, emissões, uso e ocupação do solo).
- 3 – Estabelecimento de relações entre a radiação global de superfície e a radiação global do Modelo GL:
 - Processamento dos dados horários das estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB – parâmetro radiação global para o período de 2011 a 2013;
 - Processamento dos dados de satélite de radiação global, conforme estimativas do modelo GL para o período de 2011 a 2013;
 - Gráficos e relações matemáticas entre as variáveis principais (radiação global de superfície e estimativas do modelo) e complementares (precipitação, MP₁₀, EOA₅₅₀, uso e ocupação do solo).
- 4 – Análise e interpretação dos resultados, considerando os dados e gráficos, o contexto de emissões locais, o contexto climático concomitante às variáveis consideradas.

Figura 14– Etapas do desenvolvimento do estudo realizado nos municípios paulistas de Araçatuba, Bauru, Jacaré, Marília, Ribeirão Preto, São José do Rio Preto e Presidente Prudente.



Fonte: Autor (2014).

1 - A seleção dos municípios avaliados:

Para a seleção dos municípios avaliados considerou-se a representatividade climática, a continuidade da amostragem das variáveis analisadas, atividade econômica prioritária, a confiabilidade da fonte e a pertinência das características locais ao objetivo principal.

Há indícios (Chorley e Barry, 2010) que o efeito da elevação e da direção, a qual a superfície está voltada, atuam como moduladores da quantidade de radiação solar incidente. Essa proposição sugere que regiões com maior altitude, em condições de céu limpo, recebam maior quantidade de radiação solar global que as regiões litorâneas, que

também estão sob a influência de maior concentração de vapor d'água na baixa atmosfera. Relatos históricos de Chorley e Berry (2010) documentam que nos Alpes, altitudes de 200 e 3000m, respectivamente, apresentam uma variação na radiação solar global de 70 W m^{-2} . Desse modo, a seleção do município de Santos levou em consideração seu posicionamento na região litorânea, que o coloca sob a ação dos efeitos da oceanicidade e da baixa altitude.

A seleção do município de Jacareí foi devida à presença da topografia típica de vale presente no município, e à proximidade com as Serras, pois as Serras do Mar e da Mantiqueira representam barreiras orográficas que favorecem a ocorrência de fenômenos atmosféricos e uma intensa dinâmica climática. Massas de Ar Equatorial Continental, Tropical Atlântica, Tropical Continental e Polar Atlântica (Rocha Leão, 2005), além da Zona de Convergência do Atlântico Sul costumam atuar na área. No inverno, a aparência de céu azul é o resultado do movimento de subsidência que favorecem condições agravantes da poluição atmosférica. Frentes Frias provenientes da região Sul chegam principalmente no verão, essas frentes adicionadas ao contraste térmico acentuado entre o continente e o oceano podem gerar centros de alta pressão, podendo originar anticiclones que trazem para a região muito calor e altos índices de radiação solar. Contudo, segundo Lopes a topografia acidentada do Vale, infere efeitos na exposição solar regional, quando a inclinação do terreno faz com que as encostas voltadas para o sul sejam menos iluminadas que as voltadas para o norte. A topografia de vale, a dinâmica climática regional e a industrialização típica da região, foram determinantes à escolha desse município para os estudos do presente trabalho.

A escolha dos municípios de Araçatuba, Bauru, Marília, Presidente Prudente, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto ocorreram devido à presença da atividade sucroalcooleira na região. Esses municípios, em algum momento do cultivo da cana, apresentaram a colheita com queima, responsável pela emissão de material particulado em volumes passíveis de ocasionarem efeito direto sobre a quantidade de radiação solar disponível nessas localidades. Por outro lado, segundo a Embrapa, a cana de açúcar é uma planta adequada ao cultivo em áreas com elevada incidência de radiação solar, o que pode ser explicado pela influência do sol sobre o perfilhamento da cana de açúcar. O perfilhamento é um processo fisiológico de ramificação subterrânea da cana que proporciona ao cultivo o número de talos necessários para uma boa produção. O fator externo com maior impacto no perfilhamento é a luz solar, logo, segundo a EMBRAPA, regiões com elevada disponibilidade da radiação solar são ideais para o cultivo de cana. A

expansão do cultivo da cana de açúcar nesses municípios sugere elevada disponibilidade do recurso solar, apesar disso os municípios apresentam diferenças entre si quanto ao relevo, à população e à atividades econômicas, o que decorreu na seleção de seis municípios produtores de cana para os estudos no presente trabalho.

2 – Estabelecimento de relações entre as variáveis de superfície de material particulado moda grossa (MP_{10}) e EOA_{550} :

Muitos estudos analisaram a correlação linear entre a propriedade da espessura óptica do aerossol com a concentração do material particulado menor ou igual a $2.5 \mu m$ (GUIMARÃES, 2006; Liu, 2009; Strandgren, 2014).

Os relacionamentos entre as variáveis (MP_{10}) e EOA_{550} foram analisados por meio de um estudo descritivo, elaborado com base nas séries de dados paramétricos dos anos de 2011, 2012 e 2013, para os sítios selecionados dos municípios de Araçatuba, Bauru, Jacareí, Marília, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, Santos e São José do Rio Preto. Os dados de concentração de MP_{10} foram obtidos por meio do Sistema de Consulta à base de dados sobre poluentes da CETESB (QUALAR) e os dados EOA_{550} foram obtidos por meio do aplicativo GIOVANNI, da NASA.

O acesso à base de dados de qualidade do ar da CETESB ocorreu por meio do software QUALAR que compõe um extenso banco de dados no Estado de São Paulo, com acesso mediante cadastramento prévio, acessíveis aos usuários pela internet (<http://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/home.do>).

Os dados históricos com resolução temporal horária foram visualizados na seção *consultas* do aplicativo QUALAR, salvos no formato pdf e convertidos para planilha eletrônica. O aplicativo QUALAR apresenta os resultados localizados por estação, possibilitando filtrar a estação por UGRHI (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos) e por parâmetro. O acesso por meio da seção *consultas* foi selecionado na metodologia do presente trabalho, pois permite visualizar os horários com ausência de medições, sendo as médias calculadas baseadas no número real de medidas.

Os dados históricos com resolução temporal diária foram obtidos na seção *boletim diário*, no formato pdf e convertidos para planilha eletrônica, essa seção permitiu acesso ao resultado do monitoramento, das últimas 24 horas, da concentração de MP_{10} . Dados e médias aritméticas diárias considerando o período de 24 horas por dia estão disponíveis na seção *relatórios*, assim como a primeira e segunda máxima no período selecionado.

Da base de dados da CETESB foi ainda utilizado a opção *exportar dados*, da seção *consultas*, onde as médias horárias têm o formato de saída *Comma Separated Values* (CSV), um formato de arquivo de texto que pode ser manipulado, sem conversão prévia, em planilhas eletrônicas.

Os dados de EOA₅₅₀ foram obtidos da plataforma GIOVANNI que disponibiliza os resultados em arquivos no formato HDF (*Hierarchical Data Format*) e ASCII (American Standard for Computer Information Interchange), além de outros formatos que podem ser determinados pelo usuário (mapas, séries temporais, diagrama de Hovmoller, etc.). O presente trabalho utilizou os dados no formato ASCII, um formato que contém apenas caracteres que representam letras, números e outros símbolos legíveis, esse padrão é universalmente aceito e permite a interpretação direta dos caracteres.

No aplicativo GIOVANNI foram selecionados os arquivos relativos à séries temporais mensais e diárias conforme a latitude e longitude de cada município, para o parâmetro *Aerosol Optical Depth at 550 nm*, do produto MODIS-Terra versão 5.1(http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-n/G3/gui.cgi?instance_id=MODIS_DAILY_L3).

3 – Estabelecimento de relações entre a radiação global de superfície e a radiação global do Modelo GL:

Os dados de radiação global de superfície foram obtidos por meio do software QUALAR, disponível no site da CETESB, com resolução temporal horária na seção *consultas* no formato PDF e depois convertidos para planilha eletrônica, por meio de uma versão paga do Acrobat Reader. A análise mensal foi adotada, pois permite visualizar a variabilidade no decorrer do ano e identificar sazonalidades e potenciais impactos das variáveis abordadas nesse trabalho, tais como, precipitação, concentração de MP₁₀ e EOA₅₅₀.

As estimativas de satélite foram obtidas por meio do modelo GL, na detecção remota a imagem resultante difere de uma fotografia analógica contínua, pois utiliza o formato digital, que é composto por blocos gravados separadamente, compondo uma matriz de píxeis, baseado num procedimento matemático denominado “sistema binário”. O formato digital, por meio do sistema binário, permite aos computadores registrar os dados e, posteriormente, restituí-los, efetuar cálculos e armazená-los, inclusive criando imagens ou outros arquivos em formatos binários. Assim, a primeira etapa antes de manipular os dados do modelo GL foi compreender o conceito de imagem de satélite e converter a saída do modelo em binário para ASCII.

As estimativas do modelo GL foram obtidas junto à Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) no formato binário e convertido para ASCII no aplicativo GRADS, mediante código disponível no Anexo A (códigos e ferramentas gráficas). No GRADS, a manipulação do conjunto de dados foi feita por meio do arquivo descritor ou *ctl*, que é um arquivo no formato ASCII que descreve as características do arquivo de dados. O arquivo *ctl* forneceu o nome do arquivo de dados, coordenadas dos dados, incluindo o tempo, número de variáveis e o nome (abreviatura) das variáveis, possibilitando a extração da grade (América do Sul) dos dados relativos somente aos municípios selecionados. O código elaborado para o município de Bauru é apresentado no Anexo A, para cada município foi elaborado um código análogo ao elaborado para esse município.

4 – Gráficos e regressão linear:

- Gráficos

Os gráficos relacionando às variáveis MP_{10} , EOA_{550} , Radiação Global, Estimativas do Modelo GL e Precipitação foram implementados no software livre *Gnuplot*, no sistema operacional Linux, conforme os códigos disponíveis no Anexo A. O *Gnuplot* é um pacote de plotagem multi-plataforma (Linux, Windows e outros) com aplicação gráfica científica com características que incluem plotagem 2D e 3D a partir de *scripts* de linha de comando.

- Regressão linear

A abordagem de regressão linear entre os dados de superfície e de satélite ocorreu mediante código elaborado no software livre R. O software R é uma linguagem e ambiente para computação estatística e gráfica, livre e multiplataforma (UNIX, Windows, Linux, MacOS e outros) que permitiu a manipulação de dados, cálculo e exibição gráfica.

No Anexo A pode-se visualizar em detalhes a abordagem, tais como o código comentado para implementação da regressão linear, exemplificado pelo código atribuído a análise de regressão linear de EOA_{550} e MP_{10} para o município de Araçatuba. A metodologia foi a mesma utilizada analogamente com os dados obtidos para a abordagem de regressão linear das variáveis EOA_{550} e MP_{10} para os outros municípios selecionados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CLIMATOLOGIA DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS

Verificou-se que a concentração de MP_{10} foi diretamente afetada pela climatologia do local e, especialmente, pelo regime de chuvas, pois as duas variáveis movimentam-se em direções opostas justificando a avaliação climatológica que auxiliará na interpretação dos resultados. Isso ocorre porque durante a precipitação ocorre a diluição e a remoção úmida do material particulado presente na atmosfera.

O cenário climático paulista é composto por sete tipos distintos, como apresentado na Tabela 7, conforme a classificação de Koeppen. Os municípios selecionados, na maioria, apresentam clima tropical úmido com inverno seco – Aw (Presidente Prudente, Ribeirão Preto, Araçatuba, São José do Rio Preto e Marília) e possuem inverno seco com temperatura do mês mais frio superior a 18°C e pluviosidade inferior a 60 mm. O clima na região de Santos é tropical chuvoso, caracterizado principalmente pela ausência de estação seca, classificado como Af. O município de Jacareí possui o tipo de clima dominante no estado, quente com inverno seco, classificado como Cwa, com chuvas no verão e seca no inverno. Nessa classificação, as temperaturas médias do mês mais quente superam a marca dos 22°C.

Tabela 7– Classificação climática de Koeppen para os municípios estudados.

Município	Latitude	Longitude	Altitude	Classificação de Koeppen
Araçatuba	21° 7''	50° 15''	400 m	Aw
Bauru	22° 11''	49° 2''	530 m	Aw
Jacareí	23° 10''	45° 34''	580 m	Cwa
Marília	22° 7''	49° 33''	671 m	Aw
Presidente Prudente	22° 4''	51° 13''	460 m	Aw
Ribeirão Preto	21° 6''	47° 28''	531 m	Aw
Santos	23° 57''	46° 12''	10 m	Af
São José do Rio Preto	20° 49''	49° 13''	500 m	Aw

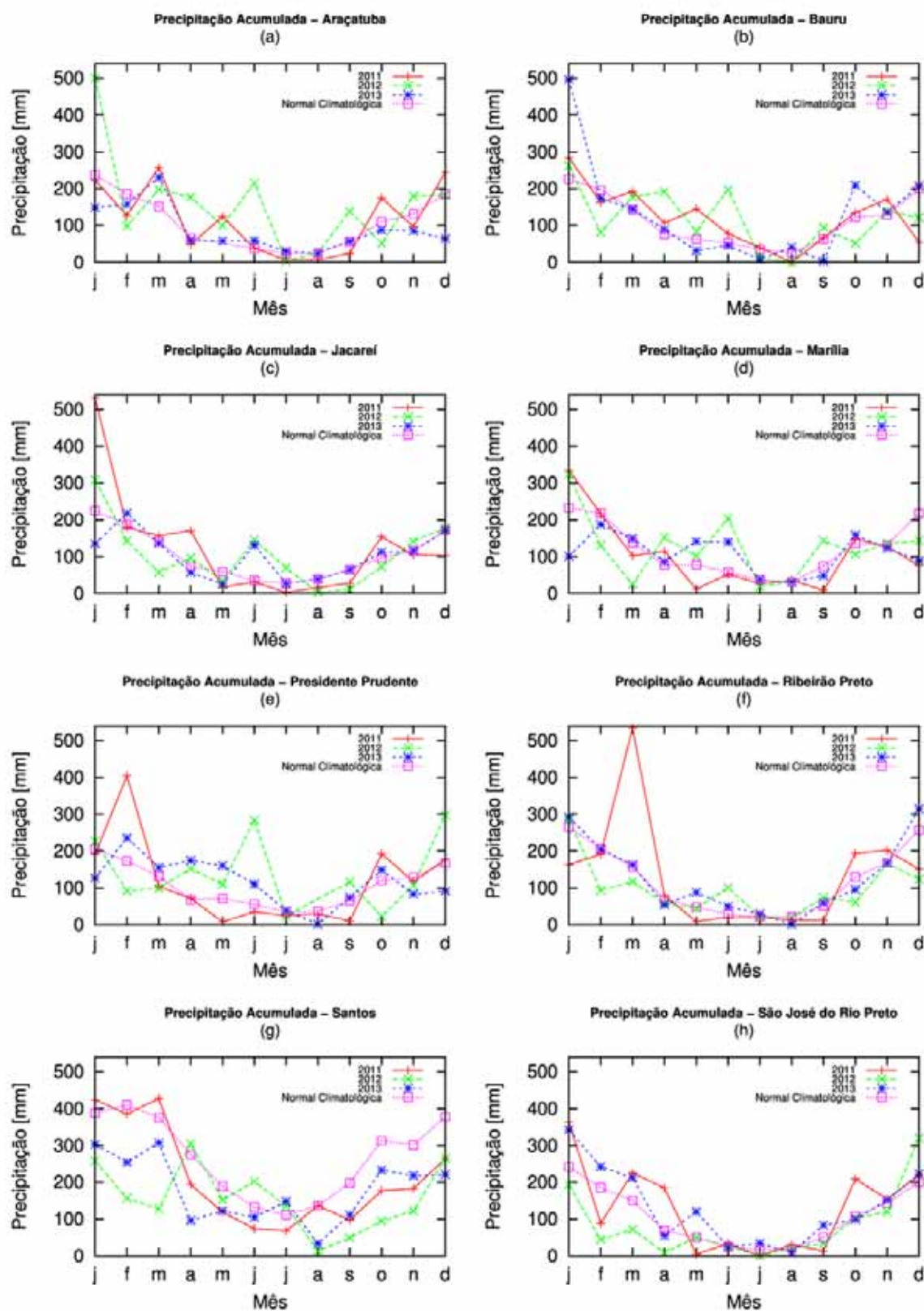
Fonte: CEPAGRI <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>
Consulta em: 15 de setembro de 2014.

5.2 ANÁLISE DO CICLO ANUAL DE PRECIPITAÇÃO

O ciclo anual de precipitação é modulado por condições de instabilidade atmosférica que podem atuar sobre a dispersão de MP_{10} e promover a remoção desse particulado. As condições de pluviosidade também permitem inferir nebulosidade, o que representa um potencial obstáculo à quantidade de radiação solar global na superfície. Desse modo, a análise do ciclo anual de precipitação é pertinente e pode ser relacionada a outros parâmetros abordados no presente trabalho. Utilizando-se os totais mensais analisou-se o ciclo anual para o período total de análise dos dados (2011-2013) para os municípios selecionados, enfatizando as maiores variabilidades ocorridas no período.

A Figura 15 apresenta a precipitação acumulada dos 8 municípios selecionados para o período de 2011 a 2012, além das respectivas climatologias pluviométricas (média de 30 anos – 1961 a 1991).

Figura 15- Precipitação acumulada mensal no período de Janeiro a Dezembro dos anos de 2011 a 2013: (a) Araçatuba; (b) Bauru; (c) Jacareí; (d) Marília; (e) Presidente Prudente; (f) Ribeirão Preto; (g) Santos; (h) São José do Rio Preto.



Fonte: Autor (2014).

As condições pluviométricas dos municípios da região Norte e Noroeste do Estado apresentados na Figura 15 (a, b, d, e, f, h), apresentam ciclo anual de precipitação bastante semelhante entre si, com a presença de duas estações dominantes, uma chuvosa e outra seca. A estação chuvosa ocorre no período de outubro a fevereiro, e a estação seca no período de maio a agosto. Os maiores e menores valores de precipitação ocorrem no período de verão e inverno, respectivamente. O regime de chuva define o inverno como sendo uma estação seca e verão o como uma estação chuvosa.

Com exceção de Santos (Figura 15g) e Ribeirão Preto (Figura 15f), os demais municípios apresentam médias de precipitação em torno de 220 mm em janeiro e reduz para menor que 30 mm em Julho. No caso de Santos, as médias climatológicas mensais são maiores do que os demais municípios, sendo 400 e 100 mm, respectivamente nos meses de janeiro e junho. A proximidade da costa e a orografia atuam sobre a precipitação local, pois a contribuição do ar oceânico trazido na direção do continente em contato com a superfície quente elevam as massas de ar e ocasionam chuvas localizadas.

Em 2011, Ribeirão Preto (Figura 15f) difere dos demais municípios, principalmente em janeiro, em que a média mensal é de 300 mm, um pico no mês de março em Ribeirão Preto elevou a precipitação acumulada a 500 mm mensais, o que suscita a possibilidade de erro ou problema no sensor nesse período. A validação desse dado demanda intercomparação com pluviômetros em regiões vizinhas, ou estimativas de satélite. Um pico semelhante ocorreu em Jacaré (Figura 15c) em janeiro de 2011. No entanto, diferente de Ribeirão Preto, esse acumulado de chuva, foi comprovado pela ocorrência de múltiplos desastres naturais, como noticiados pela mídia na vizinhança e região acerca do Vale do Paraíba.

Em Bauru (Figura 15b), anomalias positivas ocorreram em abril e junho de 2012, também detectadas em Araçatuba, Marília e Presidente Prudente. Na região de Bauru verificou-se que o primeiro semestre de 2013 foi bastante seco, com pluviosidade abaixo da média.

Na cidade de Presidente Prudente (Figura 15e), o mês de fevereiro de 2011 se apresentou bastante chuvoso, alcançando patamares de 400 mm, o que não se repetiu em outros municípios com clima semelhante.

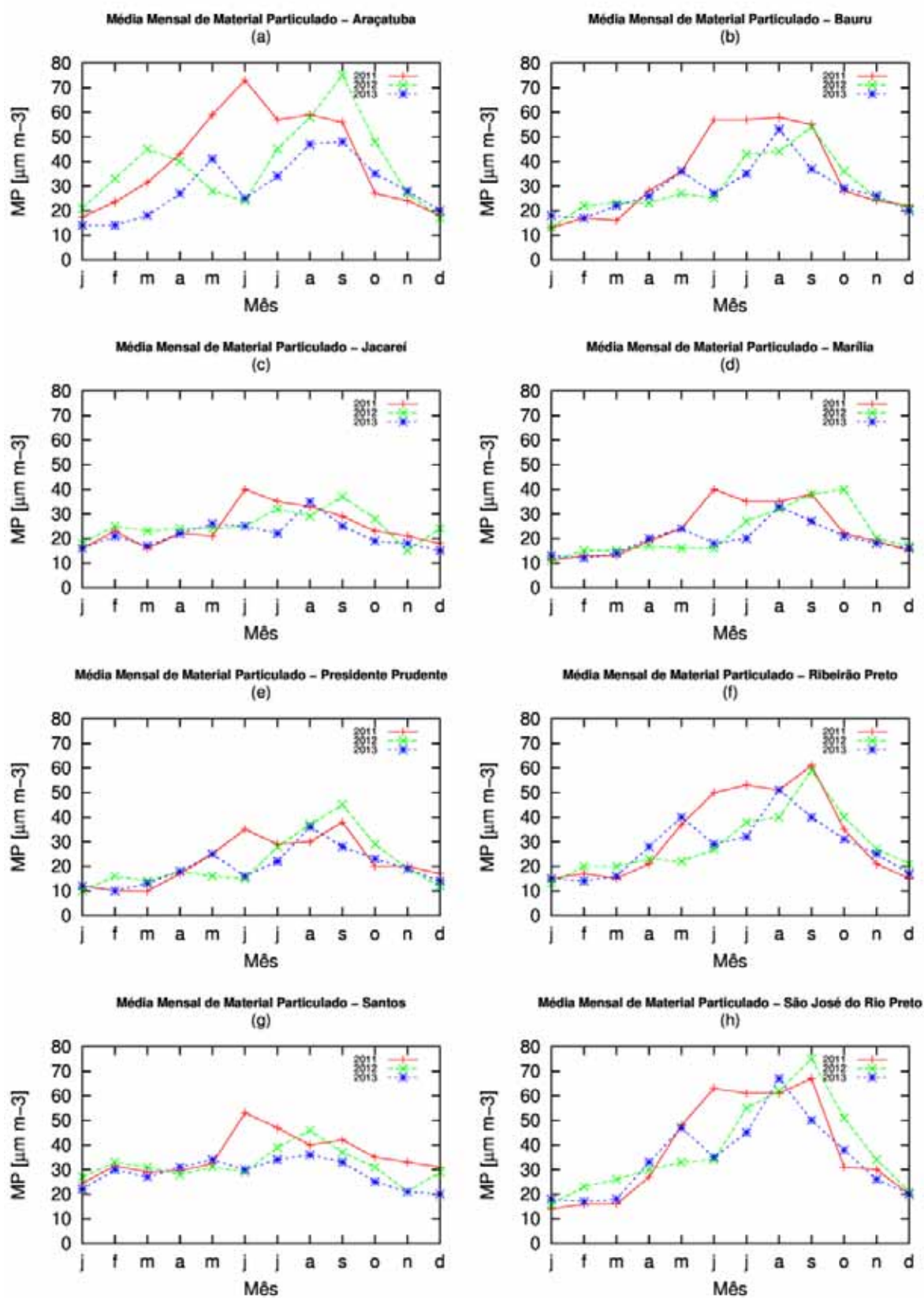
Os dados pluviométricos para o período possuem elevada variabilidade, o que está associado a distintos fenômenos meteorológicos atuantes que acabam por afetar a poluição atmosférica e a radiação solar global. O período de maior interesse deste estudo são os meses de maio a setembro, por representarem o período com concentração mais elevada de poluentes atmosféricos.

Em geral o regime pluviométrico seguiu a classificação de Koeppen, no entanto picos de precipitação foram detectados superando a climatologia esperada, sugerindo investigações futuras visando identificar a coexistência de fenômenos de larga escala com ação potencial em todo Estado de São Paulo.

5.3 ANÁLISE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A figura 16 apresenta as médias mensais de material particulado moda grossa para o período de 2011 a 2013. Em geral, os valores menores e maiores de MP_{10} ocorrem respectivamente no verão e inverno. Adicionalmente, o inverno apresentando baixo índice de pluviosidade, contribui para que as partículas fiquem suspensas no ar por mais tempo. Outro fator atuante sob a elevação dos índices de concentração do particulado, tipicamente ocorridas durante o inverno são as queimadas, especialmente àquelas relacionadas à colheita de cana de açúcar. Os municípios de Araçatuba, Bauru, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto, representados na figura 16 (a, b, f, h), apresentam valores médios mensais de MP_{10} superiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no período de maio a setembro. Os municípios com menor concentração de particulado nesse período foram Santos, Jacareí, Presidente Prudente e Marília, conforme a figura 15 (c, d, g, e), apresentaram valores abaixo de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 16 – Concentração média mensal do MP_{10} no período de Janeiro a Dezembro dos anos 2011 a 2013: (a) Araçatuba; (b) Bauru; (c) Jacareí; (d) Marília; (e) Presidente Prudente; (f) Ribeirão Preto; (g) Santos; (h) São José do Rio Preto.



Fonte: Autor (2014).

Na figura 16 pode-se verificar que entre os municípios analisados, no período de 2011 a 2013, em média, os maiores índices na concentração do material particulado ocorreram em Araçatuba, São Jose do Rio Preto, Bauru e Ribeirão Preto (Figura 16a, h, b, f) sucessivamente. A variabilidade do material particulado foi muito semelhante em Araçatuba (Figura 16a) e São José do Rio Preto (Figura 16h), da mesma forma que em Bauru (Figura 16b) e Ribeirão Preto (Figura 16f). Semelhanças na concentração de particulado e variabilidade anual da variável também foram encontradas em Presidente Prudente (Figura 16e) e Marília (Figura 16d), que se configuram como os municípios menos poluídos seguidos por Jacareí (Figura 16c).

Em Jacareí (Figura 16c) a variabilidade da concentração do particulado seguiu a sazonalidade climatológica do Estado, apresentando maiores índices na concentração do material particulado no inverno. Nesse município as emissões fixas (indústrias) e móveis inventariadas pela CETESB, mantiveram-se constantes no período, a variabilidade da concentração de material particulado foi semelhante na intercomparação anual, demonstrando a relação direta entre as fontes e a poluição presente na atmosfera.

O município de Santos (Figura 16g) apresentou variabilidade sazonal, mas teve um comportamento bastante peculiar, alcançando índices de poluição pouco menores que o município de Ribeirão Preto (Figura 16f).

No período de 2011 a 2013, em média, os maiores índices na concentração do material particulado ocorreram em Araçatuba, São José do Rio Preto, Bauru e Ribeirão Preto (Figura 16a, h, b, f), em ordem decrescente. A variabilidade do material particulado foi muito semelhante em Araçatuba (Figura 16a) e São José do Rio Preto (Figura 16h), da mesma forma em Bauru (Figura 16b) e Ribeirão Preto (Figura 16f). Semelhanças na concentração de particulado e variabilidade anual da variável também foram encontradas em Presidente Prudente (Figura 16e) e Marília (Figura 16d), que se configuram como os municípios menos poluídos seguidos por Jacareí (Figura 16c).

Em Jacareí (Figura 16c) a variabilidade da concentração do particulado seguiu a sazonalidade climatológica do Estado, apresentando maiores índices na concentração do material particulado no inverno. Nesse município as emissões fixas (indústrias) e móveis inventariadas pela CETESB mantiveram-se constantes no período, a variabilidade da concentração de material particulado foi semelhante na comparação anual, demonstrando a relação direta entre as fontes e a poluição presente na atmosfera.

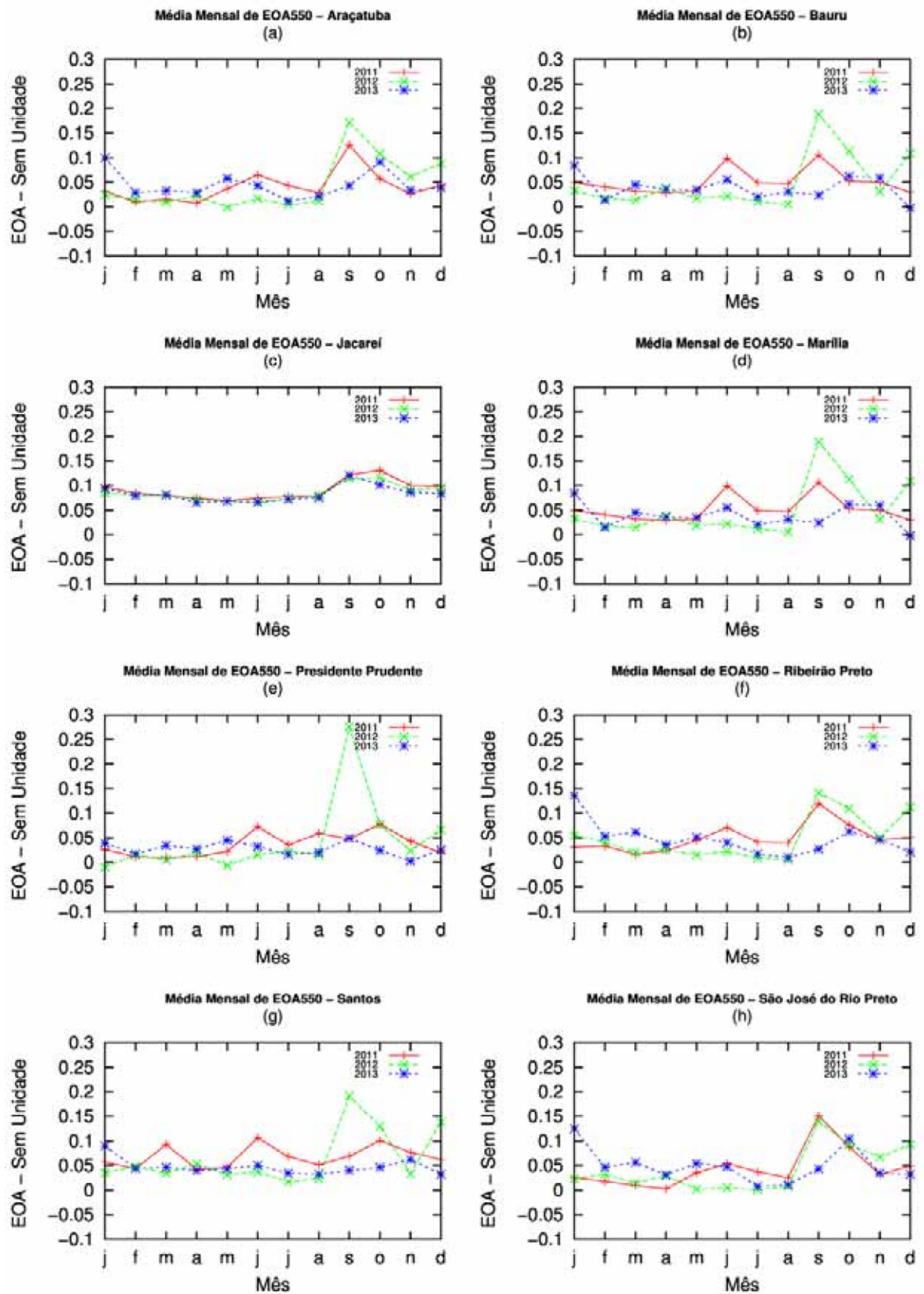
Nos municípios de Araçatuba, São José do Rio Preto, Bauru, Ribeirão Preto, Presidente Prudente e Marília (Figura 16a, h, b, f, e, d), a colheita de cana com queima se apresentou como o principal modulador da concentração do particulado atmosférico, também influenciada pela pluviosidade.

É interessante verificar a diferença da variabilidade do MP_{10} em 2011 em relação aos outros dois anos (2012 e 2013). O ano de 2011 foi o mais poluído dos três anos avaliados, e apresentou níveis altos de poluição de junho a setembro. Os anos 2012 e 2013 apresentaram o pico de poluição em setembro (com exceção de Araçatuba). Verificou-se que choveu significativamente mais do que a média climatológica nos meses de junho de 2012 e 2013, o que pode ter contribuído para a diminuição do material particulado na atmosfera.

Na série temporal de EOA_{550} representada na figura 17 (a, b, c, d, e, f, g, h), verificou-se uma oscilação em torno do valor de referência com dois picos comuns a todos os municípios. O primeiro em setembro de 2012 e o segundo em janeiro de 2013, mesmo naqueles que não têm atividades ligadas ao cultivo da cana de açúcar. No mês de janeiro, verificou-se que essa elevação estava relacionada a eventos na baixa atmosfera, que não reduziram a concentração de poluentes como nos meses de janeiro de outros anos.

A semelhança quantitativa entre os municípios analisados pode estar relacionada a resolução espacial do produto utilizado do sensor MODIS, cujo pixel tem 100 Km, logo municípios mais próximos tendem a apresentar variabilidade semelhante na Espessura Óptica do Aerossol, como o que ocorreu com São José do Rio Preto (Figura 17h) e Araçatuba (Figura 17a) que distam entre si cerca de 150 km. No entanto municípios como Jacaré e Presidente Prudente apesar de distarem mais de 600 km entre si, apresentaram variabilidade e níveis de EOA , em média, semelhantes entre si, o que pode estar relacionado a outros fatores, sugerindo uma possível relação com a concentração de material particulado nesses municípios. Essa relação pode ser evidenciada ou negada por meio da análise de regressão linear entre essas medidas.

Figura 17– Média mensal da espessura óptica do aerossol – EOA₅₅₀ no período de Janeiro a Dezembro dos anos 2011 a 2013: (a) Araçatuba; (b) Bauru; (c) Jacareí; (d) Marília; (e) Presidente Prudente; (f) Ribeirão Preto; (g) Santos; (h) São José do Rio Preto.

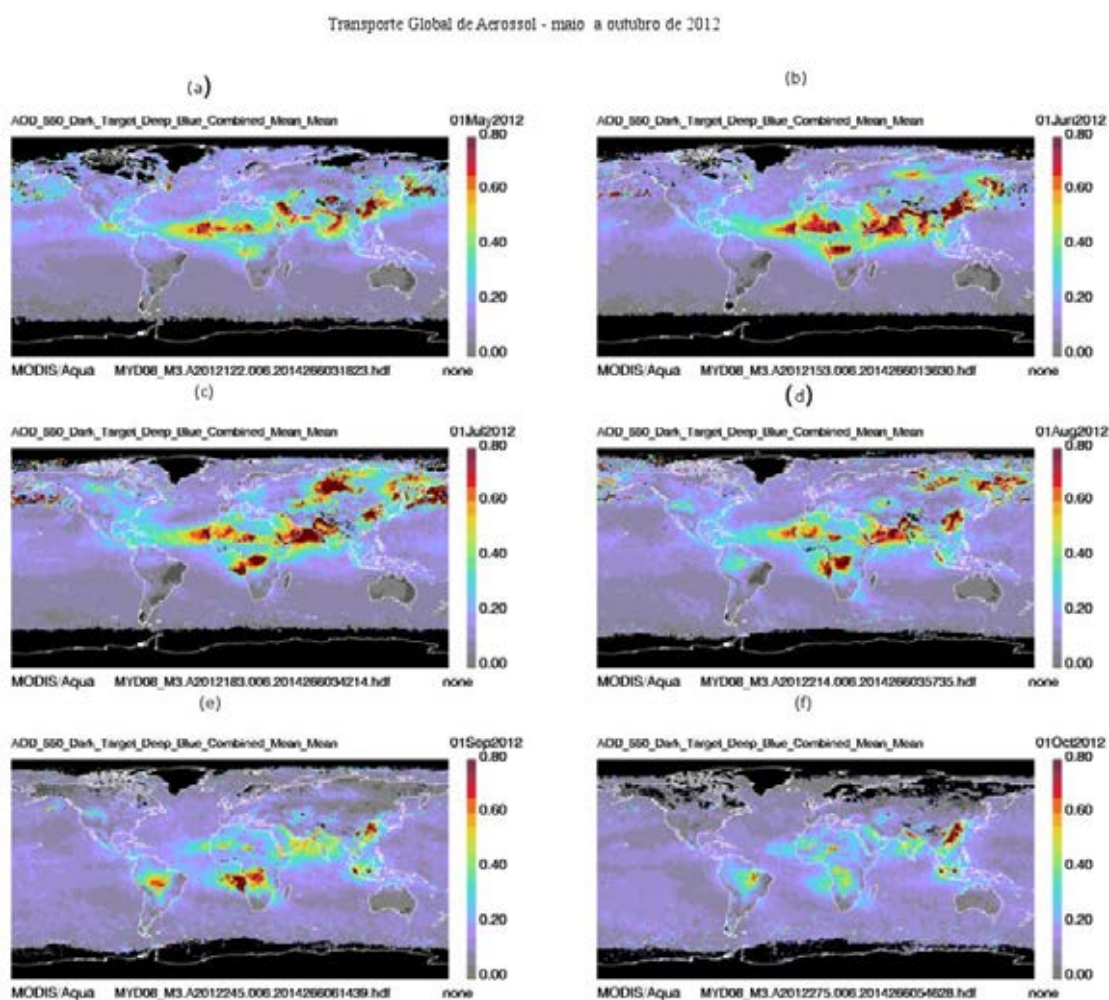


Fonte: Autor (2014).

O produto do sensor MODIS utilizado (EOA_{550}) pode ser um indicador da poluição atmosférica por aerossóis, em megacidades ou em regiões inteiras e devidamente relacionados a eventos de larga escala, contudo a análise concomitante à outros parâmetros locais não demonstrou eficácia nas análises em escala espacial pontual.

Investigando as imagens do satélite AQUA, fortes indícios de transporte de material particulado são detectados (Figura 18), oriundos da região amazônica, especialmente no mês de setembro de 2012, o que contribui para a acentuada elevação de EOA_{550} na maioria dos municípios analisados nesse período.

Figura 18– Composição mensal global da Espessura Óptica do Aerossol no período de maio a outubro de 2012.



Fonte: Adaptado de < http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/IMAGES/08_M3.html>.
Consulta em: 27 de novembro de 2014.

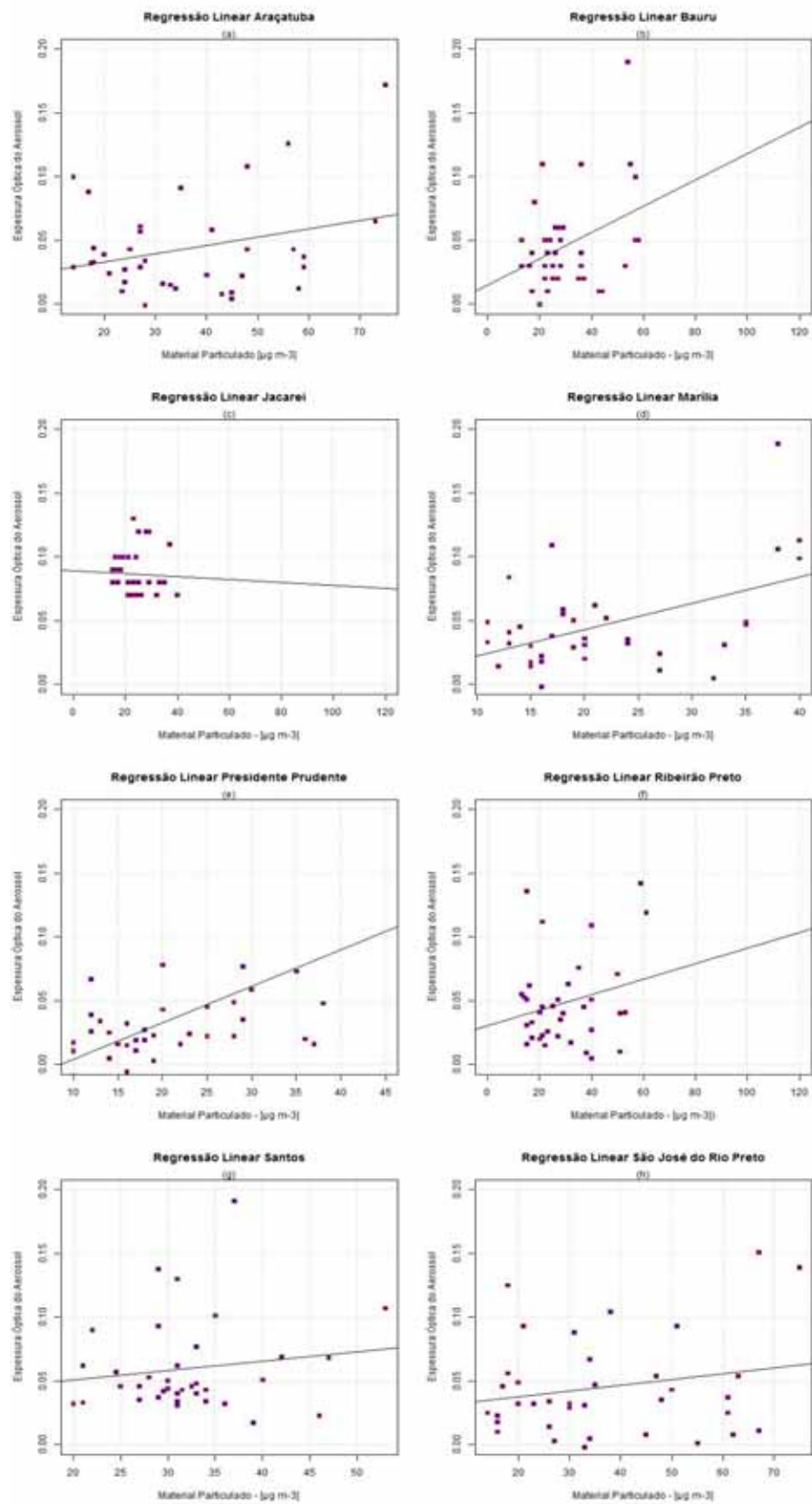
Comparação MP_{10} e EOA_{550}

A medição quantitativa de absorção de luz pelo aerossol data de pesquisas do início do século 20 (Alves, 2005), mas ainda são um desafio no século 21. Técnicas de sensoriamento remoto são essenciais para o monitoramento global de absorção de luz pelo aerossol, apesar das limitações relacionadas à resolução espacial e temporal dessas medidas. O monitoramento remoto do aerossol, em escala local, pode ser analisado comparando as medidas das propriedades ópticas do aerossol provenientes de satélites à medidas de material particulado obtidos em superfície.

Por outro lado, a crescente industrialização e queima de combustíveis fósseis remeteu a sociedade moderna à preocupação com a qualidade do ar, o que representou a expansão da rede de monitoramento da concentração do material particulado de superfície. A maior disponibilidade dos dados de concentração de particulado de superfície e de medidas remotas de aerossol por meio de sensores a bordo de satélites, permitem subsidiar análise das relações entre a espessura óptica do aerossol (EOA_{550}) em toda coluna atmosférica, e as medidas locais da concentração do material particulado (MP_{10}).

O presente trabalho adotou a abordagem da regressão linear para analisar a relação entre MP_{10} e EOA_{550} nos sítios analisados de 2011 a 2013. A figura 19 apresenta o diagrama de dispersão da espessura óptica do aerossol obtida pelo aplicativo GIOVANNI, com dados do satélite Terra, e a concentração de MP_{10} , observada na rede de monitoramento da qualidade do ar da CETESB.

Figura 19– Regressões para a relação Linear entre EOA_{550} X MP_{10} .



Fonte: Autor (2014).

Ao dispormos os diagramas de dispersão dos municípios apresentados nas figuras 16 (MP₁₀) e 17 (EOA₅₅₀) observamos uma linha de tendência linear positiva, com exceção do município de Jacareí (Figura 17c). Esta tendência indica elevação linear de EOA₅₅₀ quando os valores de MP₁₀ também aumentam. Para medirmos o grau de relação linearidade entre as duas variáveis, calculamos o coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 8).

Tabela 8- Correlação entre as variáveis EOA₅₅₀ e MP₁₀ e respectivos coeficientes de determinação (R²).

Município	Coeficiente de Correlação (ρ)	Coeficiente de Determinação (R²)
Jacareí	-0,02	0
São José do Rio Preto	0,21	0,04
Marília	0,48	0,23
Presidente Prudente	0,57	0,32
Ribeirão Preto	0,24	0,06
Santos	0,15	0,02
Bauru	0,37	0,13
Araçatuba	0,29	0,08

Fonte: Autor (2014).

A EOA₅₅₀ demonstrou depender muito pouco do MP₁₀. O material particulado com o diâmetro aerodinâmico de 10 µm tende a ser depositado por gravidade e não permanecer muito tempo na atmosfera. Nos municípios com concentração semelhante de material particulado, sem presença de queimadas, o coeficiente linear de Pearson foi ainda menor, o que sugere investigações futuras mais detalhadas. Investigações são importantes em regiões litorâneas e em outros municípios do Vale do Paraíba do Sul, onde a circulação atmosférica é dificultada pelo regime dominante de calmarias e pelos obstáculos naturais à dispersão, representados pelas Serras da Mantiqueira e Serra do Mar.

As médias do material particulado de superfície são obtidas a partir das médias horárias. O Satélite Terra, por sua vez, posiciona-se sobre o Brasil em dois horários, às 10:30h e às 13:30h (GMT). Por essa razão verificou-se a existência de correlações obtidas com as médias de particulado nos horários coincidentes à passagem do satélite e foi identificada uma suave elevação da relação entre as variáveis.

Com relação aos municípios submetidos a colheita da cana de açúcar com queima, percebe-se elevação tanto nas medidas de particulado de superfície quanto nas medidas de espessura óptica do aerossol, em todo período seco (abril a novembro).

Na tabela 9, o intercepto ou coeficiente linear que representa a parte constante da reta linear, onde a reta corta o eixo das ordenadas, pode ser positivo, negativo ou nulo. Nessa análise ele permaneceu próximo de zero, alguns modelos não lineares apresentam interceptos nulos, contudo essa condição não é suficiente para inferir a linearidade do modelo, pois algumas abordagens de regressão linear simples, são melhor representadas por interceptos nulos, o que simplifica o modelo (Seber, 1977).

Tabela 9 – Informações extraídas da Regressão Linear EOA_{550} X MP_{10} .

Município	Intercepto	Coeficiente Angular	Erro padrão	P
Araçatuba	0.0198	0.0006	0.0367	0.0900
Bauru	0.0151	0.0010	0.0358	0.0281
Jacareí	0.0891	-0.0001	0.0173	0.8024
Marília	0.0020	0.0020	0.0335	0.0027
Presidente Prudente	0.0306	0.0006	0.03486	0.1612
Ribeirão Preto	0.0306	0.0006	0.03486	0.1612
Santos	0.0358	0.0007	0.03648	0.3897
São José do Rio Preto	0.0281	0.0004	0.0390	0.2225

Fonte: Autor (2014).

O coeficiente angular representa a inclinação da reta linear e quanto mais próximo da unidade, maior a relação de dependência entre as variáveis selecionadas, nessa análise esse coeficiente permanece próximo de zero em todos os casos. No município de Jacareí ele é representado por um valor negativo, indicando inversão de proporcionalidade entre MP_{10} e EOA_{550} .

O grau de utilidade da reta de regressão representa o quanto aproximado da realidade é a reta. Nesse contexto, duas medidas são essenciais para analisar a utilidade da reta, o erro padrão e o coeficiente de determinação. O Erro padrão representa o desvio padrão dos resíduos, quanto mais próximo de zero for esse valor, mais ajustada encontra-se a reta, contudo, fisicamente, nessa análise, essa condição não implica na ausência de outros fatores que interfiram no comportamento de EOA_{550} além de MP_{10} .

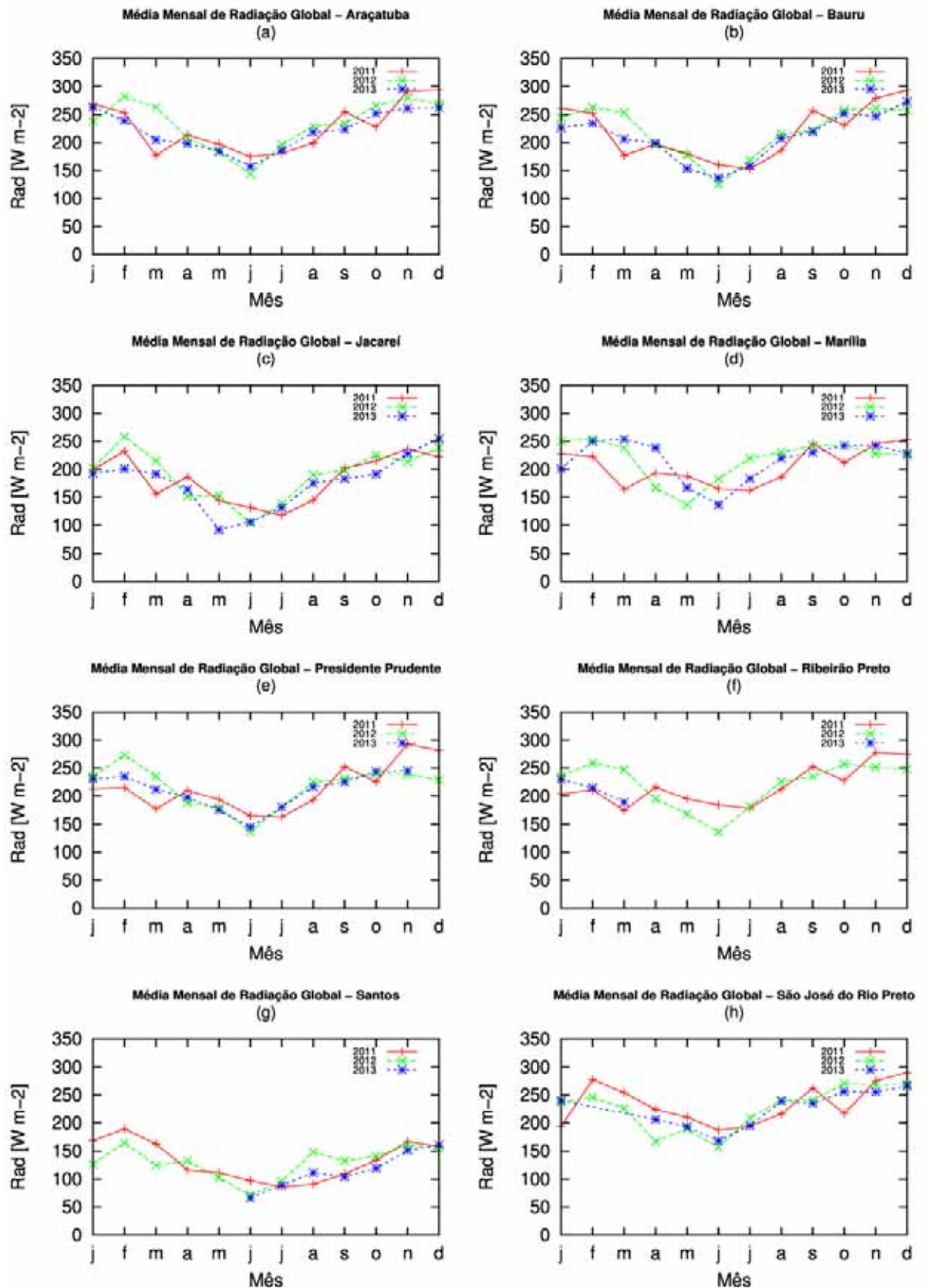
5.4 ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL

Dados observacionais

Na figura 20 pode ser observada a média mensal da radiação solar global (referenciada por média mensal da radiação global ou radiação solar) para os três anos de interesse (2011-2013). A radiação solar apresenta ciclo anual, com valores máximos no verão e mínimos no inverno. Os valores médios diários são de aproximadamente 200 a 250 $W\ m^{-2}$ (4.8 a 6 $kWh\ m^{-2}$) em janeiro e 150 a 170 $W\ m^{-2}$ (3.6 – 4.0 $kWh\ m^{-2}$) em junho. O município de Santos (Figura 20g) apresenta valores ligeiramente inferiores de radiação solar por estar localizado no litoral. Onde a brisa oceânica é um mecanismo que impulsiona a formação de nuvens, e consequentemente de chuva.

O monitoramento da distribuição anual da radiação solar possibilita explorar o potencial energético solar. Nos gráficos apresentados na figura 20 (a, b, c, d, e, f, g, h), verificou-se uma variação sazonal, não estritamente uniforme entre 2011 e 2013 e também entre os municípios analisados. Contudo, o ciclo da sazonalidade está associado ao fator astronômico de inclinação do eixo rotacional ao plano orbital da Terra em relação ao Sol. Adicionalmente, os fenômenos meteorológicos impactam a variabilidade interanual da radiação.

Figura 20– Média mensal de Radiação Solar Global no período de Janeiro a Dezembro dos anos 2011 a 2013: (a) Araçatuba; (b) Bauru; (c) Jacareí; (d) Marília; (e) Presidente Prudente; (f) Ribeirão Preto; (g) Santos; (h) São José do Rio Preto.



Fonte: Autor (2014).

Vernich e Zuammi (1996) verificaram que um período de 14 anos pode fornecer uma série diária estatisticamente estável, porém em regiões com o clima variável esse período não apresenta a estabilidade necessária, o que sugere um monitoramento constante do recurso solar disponível, considerando sua variabilidade. Um período mínimo de 3 anos de análise permite fazer a seleção da área para um empreendimento de uma central solar, o que é conveniente diante do cenário de mudanças climáticas que ameaçam o abastecimento energético a partir de hidrelétricas, levando a busca por fontes alternativas de geração de energia elétrica, assim como, recursos mais avançados de armazenamento, visando assegurar a demanda de energia.

É comum que o inventário do recurso solar possua resolução espacial regional da ordem de centenas de quilômetros, mas dada a variabilidade das condições meteorológicas, que podem afetar a disponibilidade do recurso, o inventário municipal do recurso solar é conveniente. Identificar correlações com variáveis meteorológicas é relevante para o sucesso do empreendimento, pois estas variáveis podem afetar a quantidade de radiação solar disponível.

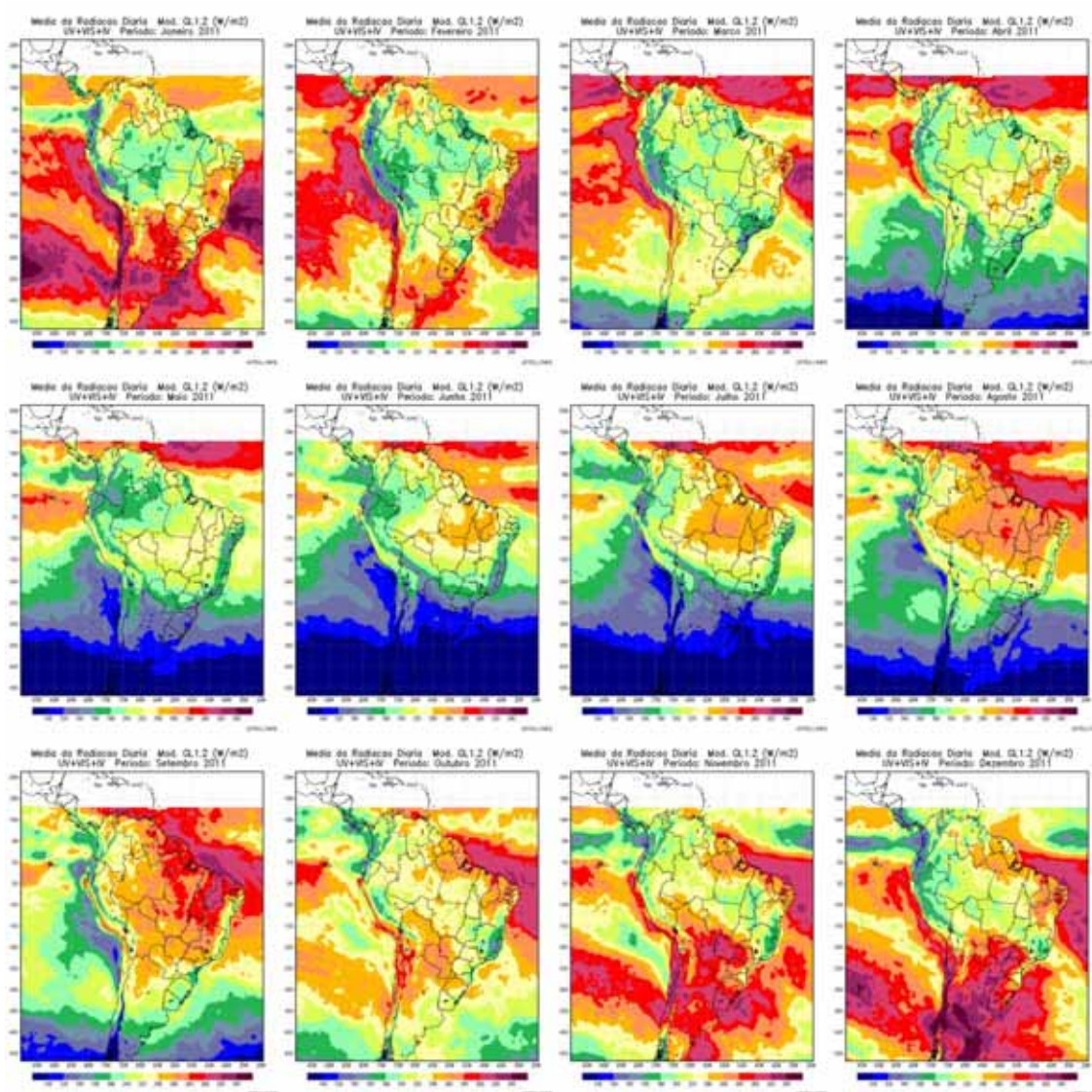
Considera-se que as nuvens podem ocasionar variações significativas na quantidade de radiação média mensal incidente à superfície. Verifica-se que podem ocorrer reduções de 50 a 70 W m^{-2} no mesmo mês para diferentes anos. Exemplificando, a radiação média solar observada para o município de Araçatuba (Figura 20a) em março foi de aproximadamente 260 W m^{-2} em 2011 e 170 W m^{-2} em 2012. Diferenças similares no mesmo período foram observadas nos municípios de Bauru, Marília e Ribeirão Preto (Figura 20b, d, f).

Dados do Modelo GL

O modelo GL apresenta capacidade para estimar a radiação global média diária, contudo nesse trabalho a abrangência mensal foi adotada, conforme o exemplo configurado na Figura 21 que ilustra a radiação global mensal para a região da América do Sul em 2011. Verificou-se uma boa correlação entre as estimativas do modelo e os dados de superfície para todos os sítios, contudo observamos pequenas diferenças entre os valores observados e estimados pelo modelo. Observamos que as diferenças sugerem erros sistemáticos de superestimativas. Essa diferença é esperada, devido às distintas

representatividades do pixel do satélite e das medidas de superfície. Enquanto nas medidas de satélite o pixel equivale a 16 km² (4 km X 4 km), o que corresponde à resolução espacial do modelo GL, a representatividade das medidas de superfície é pontual e extendida a um raio de alcance variável conforme as limitações do piranômetro.

Figura 21 – Configuração mensal da radiação global para o período de 2011 na América do Sul – Modelo GL.



Fonte: Adaptado de: <<http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/>>.

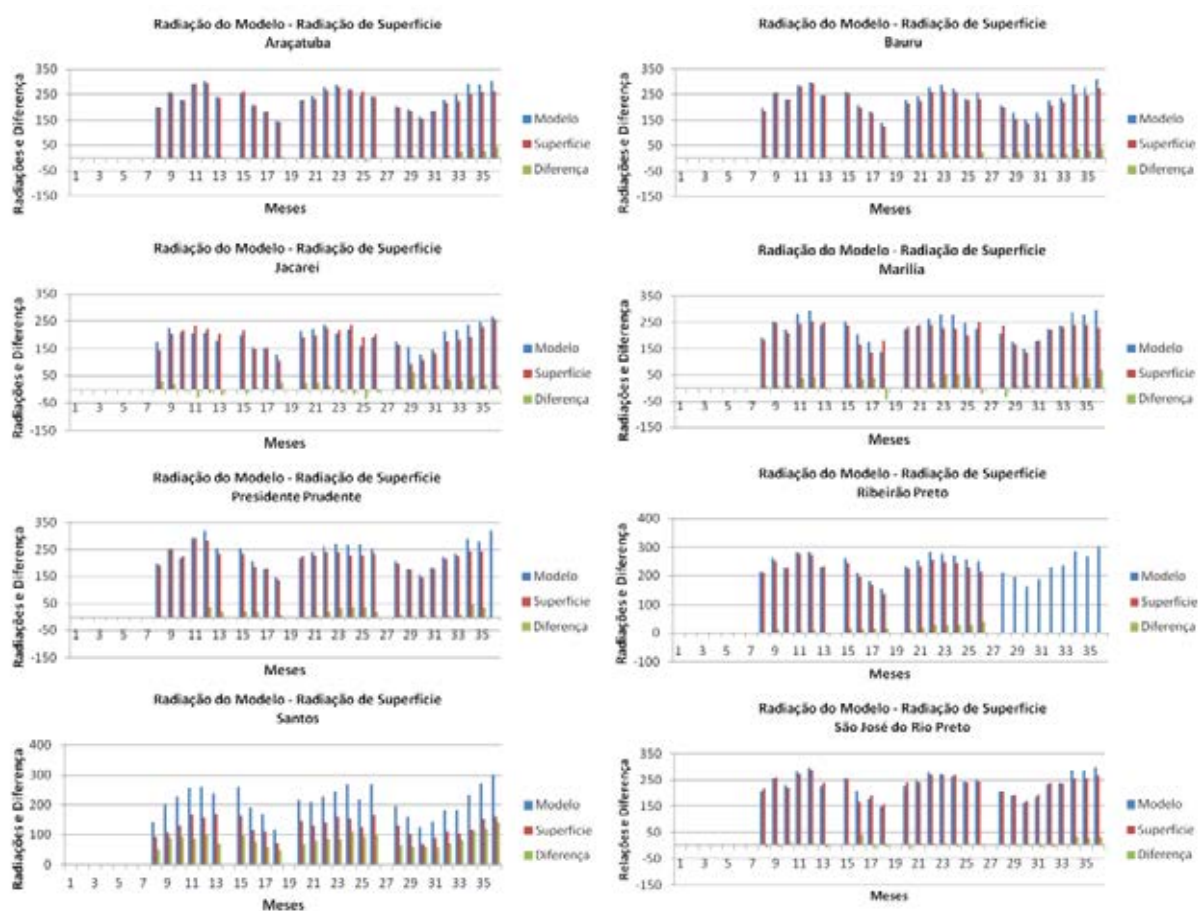
Consulta em: 15 de novembro de 2014.

As maiores diferenças entre os dados de superfície, que caracterizam a verdade terrestre e as estimativas do modelo GL ocorreram em Santos (Figura 22), que pela maior pluviosidade, infere estimativas de maior nebulosidade.

A região de Jacareí também merece destaque como uma região de elevadas diferenças entre dados de superfície e as estimativas de modelo (Figura 22). O relevo típico da região de vale e a proximidade com as serras são características que sugerem elevação da umidade local e a presença de hidrometeoros na atmosfera, especialmente representados pelos nevoeiros orográficos. Apesar disso, foram detectadas diferenças também nos meses de maio, junho e julho, quando a pluviosidade foi reduzida no local e a ausência de nebulosidade configurou períodos de céu limpo. A diferença entre as estimativas do modelo e a radiação solar detectada em superfície, sugere conexões com a concentração de material particulado local, que nessa época do ano sofre elevações.

Nos outros municípios, com atividades de cultivo de cana de açúcar, as diferenças ocorreram, basicamente, em novembro e dezembro, quando a pluviosidade foi elevada, com períodos de maior nebulosidade. O modelo utiliza a detecção do satélite para a presença de nebulosidade, mas existem nuvens mais baixas que podem parecer, praticamente, indetectáveis ao satélite.

Figura 22– Radiação Observada e gerada pelo Modelo GL.



Fonte: Autor (2014).

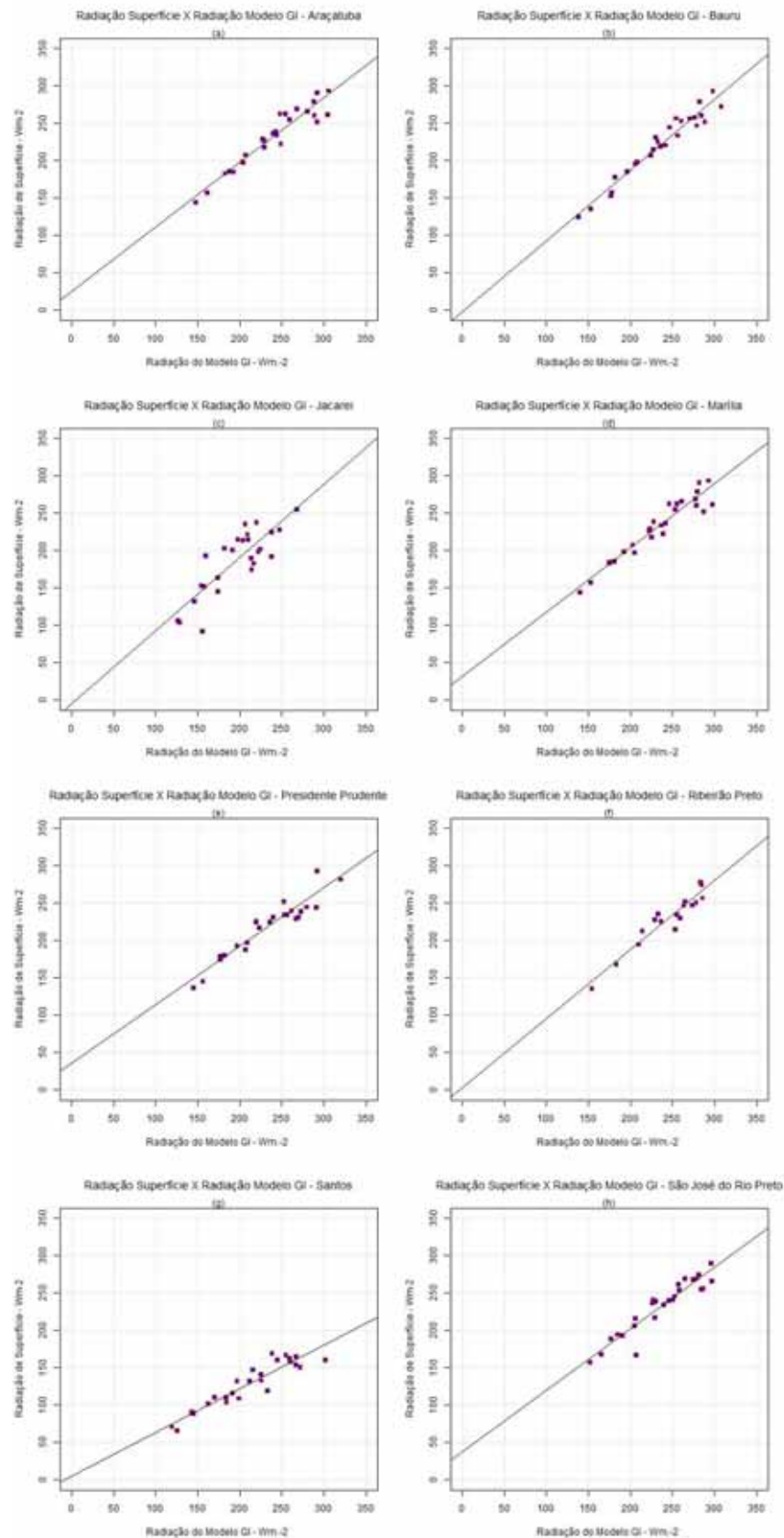
Comparação Da Radiação Global De Superfície X Radiação Global GL

A implementação de uma rede de instrumentos de radiação de superfície demanda investimentos na instalação e manutenção dos instrumentos para assegurar a acurácia das medidas. O acesso às redes de instrumentação solar nem sempre é facilitado, podendo representar um fator de impedimento à expansão do monitoramento do recurso solar no território analisado. As estimativas obtidas por satélite apesar de não substituírem a verdade terrestre, podem complementar e viabilizar análises de recursos ambientais por meio da tecnologia remota.

No presente trabalho efetuou-se a comparação entre os dados de radiação solar global de superfície e as estimativas procedentes do modelo GL, que utiliza como entrada dados de satélites meteorológicos. A comparação foi efetuada por meio da abordagem da regressão linear, uma metodologia também utilizada como modelo matemático de previsão de uma variável em função de outra a partir do estudo da natureza da relação entre as variáveis.

A figura 23 apresenta o diagrama de dispersão da radiação solar estimada via satélite e observada à superfície para o período de janeiro de 2011 a dezembro de 2013 para os 8 municípios estudados. Na tabela 10 pode ser observada a correlação e o coeficiente de determinação dos dados de radiação. Observou-se que as relações abordadas entre as estimativas do Modelo GL e as medidas de radiação Global de Superfície são lineares e de correlação forte.

Figura 23– Radiação Global de Superfície X Radiação Global estimada pelo Modelo GL.



Fonte: Autor (2014).

Estes resultados indicaram a existência de correlação de radiação estimada por satélite e observada. O modelo apresenta um erro inferior a 20%, e o coeficiente de correlação foi superior a 0,9 com exceção de Jacareí em que $\rho=0,8$ (Tabela 10). Maiores diferenças foram encontradas no município de Santos e Jacareí. O pixel de satélite na região de Santos cobre uma região de transição entre oceano e continente, o que interfere na acurácia do modelo de radiação e contribui para a diferença detectada.

Tabela 1 - Correlação e coeficiente de determinação – Radiação de superfície x radiação modelada.

Cidade	Coeficiente de Correlação (ρ)	Coeficiente de Determinação R^2
São José do Rio Preto	0,94	0,88
Araçatuba	0,95	0,91
Jacareí	0,83	0,69
Marília	0,96	0,92
Presidente Prudente	0,95	0,89
Ribeirão Preto	0,95	0,91
Santos	0,93	0,87
Bauru	0,97	0,95

Fonte: Autor (2014).

No presente trabalho, a análise de regressão linear entre as variáveis radiação solar global medida e estimada resultou num coeficiente linear negativo para Jacareí e Bauru e positivo para os municípios de Araçatuba, Marília, Ribeirão Preto, Santos e São José do Rio Preto. Quando o intercepto apresentou-se positivo, ocorreu as estimativas do modelo superestimaram a radiação global.

O coeficiente angular (tabela 11) em todos os casos apresentou-se muito próximo da unidade, permanecendo acima de 0,78 em todos os municípios, com exceção de Santos, onde os efeitos da oceanicidade sugerem menor acurácia nas estimativas do modelo GL.

O grau de utilidade da reta de regressão representa o quanto aproximado da realidade é a reta. Nesse contexto, o erro padrão demonstrou elevado ajuste da reta linear. O Erro padrão representa o desvio padrão dos resíduos, quanto mais próximo de zero for esse valor, mais ajustada encontra-se a reta.

O valor de P está associado a hipótese nula, que representa a independência entre Radiação Global de Superfície e Radiação Global estimada no período analisado, apresentou-se menor que 0.001 em todos os municípios analisados, o que implica, por convenção, que existe evidências altamente significativas contra a independência entre a Radiação solar global medida e aquela estimada pelo modelo GL.

Tabela 2 - Dados obtidos a partir da Regressão Linear.

Município	Intercepto	Coefficiente Angular	Erro padrão	P
Araçatuba	0.86404	0.98570	12.04	3.199e-14
Bauru	-2.16376	0.94914	10.46	2.2e-16
Jacareí	-5.0857	0.9802	24.57	1.244e-07
Marília	76.2576	0.7973	27.49	1.619e-05
Presidente Prudente	36.53139	0.78056	12.29	8.884e-13
Ribeirão Preto	3.17787	0.92304	11.33	3.39e-09
Santos	5.13547	0.58549	11.55	1.458e-11
São José do Rio Preto	37.3582	0.8255	12.72	1.081e-12

Fonte: Autor (2014).

5.5 ANÁLISE SAZONAL

Variabilidades na distribuição sazonal da precipitação, radiação solar global e na concentração de MP₁₀ presente na atmosfera, são especialmente observadas no inverno e verão e apresentam-se no presente capítulo com o intuito de corroborar para o objetivo principal de analisar essas variáveis no tempo e espaço, no período de 2011 a 2013, nos municípios selecionados, com ênfase à análise das variações de maior relevância.

Na tabela 12 são apresentadas as médias de radiação global sazonal (verão e inverno) nos municípios analisados de Araçatuba, Bauru, Jacaré, Marília, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, Santos e São José do Rio Preto, bem como a precipitação acumulada no período de 2011 a 2013 e a concentração média de MP₁₀ no mesmo período.

Tabela 3 – Médias Mensais de Radiação Global, MP10 e Precipitação acumulada mensal para o inverno de 2011 a 2013, verão 2011-2012 e verão 2012-2013 para os municípios selecionados.

Precipitação (Acumulado)	Araçatuba	Bauru	Jacaré	Marília	Presidente Prudente	Ribeirão Preto	Santos	São José do Rio Preto
Inverno 2011	50,8	94,0	50,3	114,1	89,4	53,3	278,2	64,6
Inverno 2012	243,6	209,0	217,6	222,4	308,0	143,1	352,2	45,7
Inverno 2013	113,2	117,9	197,1	176,1	149,0	79,3	286,8	66,9
Normal Inverno	86,2	113,3	100,7	124,9	125,6	70,5	379,0	61,4
Verão 2011-12	843,5	551,4	553,6	529,9	495,3	530,4	679,5	455,8
Verão 2012- 13	488,4	568,7	530,5	431,6	660,2	621,2	823,7	903,5
Normal Verão	608,1	621,4	582,3	669,3	546,1	729,3	1176,0	626,7
MP (Média)								
Inverno 2011	63,0	57,3	36,0	36,7	31,3	51,3	46,7	61,7
Inverno 2012	42,3	37,3	28,7	23,7	26,7	35,0	38,0	50,3
Inverno 2013	35,3	38,3	27,3	23,7	24,7	37,3	33,3	49,0
Verão 2011-12	24,0	19,0	20,3	13,7	14,3	16,0	30,3	19,7
Verão 2012- 13	15,0	18,7	20,3	14,0	11,3	16,7	27,0	18,7
Radiação (Média)								
Inverno 2011	185,0	166,0		171,0	173,7	191,7	91,3	199,0
Inverno 2012	189,7	169,7		211,0	180,7	181,0	105,0	202,0
Inverno 2013	187,0	167,0		180,0	180,7		88,7	200,7
Verão 2011-12	271,0	267,0		252,3	263,3	256,7	172,0	268,0
Verão 2012- 13	257,0	239,0		225,3	231,7	231,0	148,3	251,7

Fonte: Autor (2014).

O inverno de 2011 foi o mais seco na maioria dos municípios analisados, com exceção do município de São Jose do Rio Preto, onde o inverno mais seco ocorreu em 2012. O inverno de 2011 também foi aquele com maior concentração de MP_{10} , comparado ao inverno de 2012 e de 2013, sugerindo uma conexão com o regime pluviométrico do período.

A quantidade de radiação global foi menor em 2011 na maioria dos municípios, com exceção do município de Ribeirão Preto, onde o período com radiação global mínima foi 2012. A redução da radiação global no inverno está sob a ação da sazonalidade que ocasiona períodos de insolação menores, contudo a classificação de do inverno de 2011 como àquele com menor quantidade de radiação global, comparado a outros invernos (2012 e 2013), sugere conexão com o aumento na concentração de MP_{10} em relação a outros invernos (2011-2012), essa hipótese é reforçada pela redução na pluviosidade no período, que permitiu que a redução da radiação global não fosse atribuída às condições de instabilidade.

O verão de 2011-2012 apresentou-se com radiação global média mais elevada que o mesmo período de 2012-2013 em todos os municípios analisados, enquanto a concentração de MP_{10} apresentou-se com uma suave variabilidade positiva, mantendo-se praticamente estável em relação ao verão de 2011-2012. Essa condição permitiu analisar possível influência da precipitação sob a radiação global média do período, uma vez que a atenuação de MP_{10} manteve-se constante. A precipitação no município de Araçatuba foi notadamente maior no verão de 2011-2012, superando com relevância a pluviosidade normal climatológica para o período. Apesar dessa condição, a radiação global alcançou média mais elevada que o verão seguinte, o que não concorda com condições inferidas de maior nebulosidade. A explicação para essa discordância é sugerida pela ocorrência de eventos extremos concentrados em meados de janeiro de 2012, amplamente noticiados pela mídia, não sendo suficiente para impactar diretamente a quantidade de radiação solar global média do período.

Destaca-se na análise inverno-verão a elevada pluviosidade no município de Santos. Essa condição é apresentada tanto no inverno quanto no verão de todo período analisado (2011-2013), confirmando a caracterização tropical chuvosa. Ao mesmo tempo, o município apresenta-se com os menores valores de radiação global, onde os valores de

radiação global no verão são ultrapassados inclusive pelos valores observados no inverno dos outros municípios analisados.

O município de Jacareí apresentou-se com valor reduzido de radiação global quando comparado aos outros municípios analisados, superando apenas o município de Santos. Não apresenta elevações relevantes na concentração média de MP_{10} . Os índices pluviométricos dos invernos analisados superaram a expectativa da pluviosidade normal climatológica. Nos verões a pluviosidade apresentou-se reduzida em relação à normal climatológica para o período. Nesse município a complexidade climatológica devido à proximidade com as Serras do Mar e da Mantiqueira, sugerem investigações mais aprofundadas levando em consideração o regime de ventos, efeitos da orografia e da turbulência inferida pela presença desses obstáculos naturais, além de análise em períodos mais prolongados da disponibilidade do recurso solar.

Destacou-se na análise do período, a elevada disponibilidade de radiação global no município de São José do Rio Preto para todo o período analisado, o que o coloca como aquele com maior radiação média global no período de verão e inverno, seguido pelo município de Araçatuba. Esses municípios apresentam-se com maior produtividade sucroalcoeira dentre os municípios analisados, sugerindo uma real conectividade entre a adequação climatológica ao plantio da cana de açúcar e a quantidade de radiação global disponível o que configura esses municípios como potenciais geradores de energia solar.

É possível detectar que a maior incidência de radiação global ocorre em São José do Rio Preto seguido por Araçatuba. Esses municípios também apresentam as maiores concentrações de MP_{10} , isto sugere que em média, no período de 2011 a 2013, a concentração de material particulado não afetou a radiação solar disponível, contudo a variabilidade mensal foi detectada mesmo não apresentando relevância na análise do período total. Variações horárias de MP_{10} e Radiação Solar merecem ser investigadas em trabalhos futuros nos gráficos mensais (Figura 20) podendo inferir possíveis oscilações na radiação solar, relacionadas à sazonalidade do recurso e às condições de nebulosidade.

Nesse estudo, as condições de nebulosidade não foram diretamente monitoradas, devido à escassez de dados, contudo, a nebulosidade pôde ser inferida mediante a variação nos índices pluviométricos. Na tabela 9, o município de Santos apresentou média climatológica pluviométrica elevada em relação aos outros municípios analisados, apresentou-se com menor disponibilidade do recurso solar, isto sugere influência

relevante da nebulosidade sobre a radiação solar global e o consequente potencial energético solar.

O município de Jacareí apesar de apresentar a menor média pluviométrica tanto quanto aos dados de pluviosidade climatológica (30 anos), quanto ao período de 2011 a 2013, apresentou-se com a segunda menor média de radiação solar global disponível, na amostra analisada, sugerindo investigações futuras da climatologia regional e da influência da presença de obstáculos naturais (serras) sobre a radiação global disponível.

Em média, os municípios analisados localizados no Norte e Nordeste do Estado, apresentaram radiação global média semelhante entre si, no período de 2011 a 2013, demonstrando ser adequada a avaliação regional do recurso solar para essas regiões.

No período analisado, a precipitação acumulada média mensal seguiu a tendência climatológica local (1961 a 1991), com excessão de picos detectados no monitoramento mensal, decorrentes de eventos atmosféricos de larga ou média escala, presentes especialmente no mês de janeiro.

6 CONCLUSÕES

A análise das séries temporais de MP_{10} para os municípios selecionados possibilitou a confirmação dos impactos da ação antrópica sobre a qualidade do ar, confirmando a relação entre o banco de dados georreferenciado do Programa CANASAT e a concentração de material particulado em escala local. A avaliação local da radiação solar terrestre não possibilitou analisar em âmbito global, o impacto do EOA_{550} sobre a radiação solar global terrestre, apesar das evidências de fraca correlação entre as variáveis EOA_{550} (satélite) e MP_{10} (superfície).

A utilização de produtos de imagens de satélite para comparações com medidas diretas de superfície possibilitou confirmar a eficiência do Modelo GL 1.2. A expansão do monitoramento de radiação solar global preenche lacunas onde não existe a presença de sensores de solo, possibilitando avaliar o potencial energético solar, estimar a sazonalidade da radiação solar, identificar relações entre o recurso solar e outros agentes naturais modificadores do clima e da qualidade de vida na superfície terrestre.

O sensoriamento remoto da atmosfera pode gerar subsídios para outras áreas do conhecimento integrando-se à outros cenários de pesquisa e produção, expandindo suas fronteiras a aplicações além da meteorologia, especialmente para estudos de viabilidade do uso do recurso solar como fonte alternativa de energia.

Os municípios produtores de cana de açúcar são também àqueles com maior incidência de radiação solar global, sugerindo possíveis implementações de plantas geradoras de energia solar diante da disponibilidade do recurso solar.

7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

É imprescindível que outros modelos com dados de entrada procedentes de satélites sejam comparados e aperfeiçoados, especialmente na área ambiental, considerando a crescente demanda dos serviços naturais.

É bastante oportuno comparar as diferenças obtidas nesse estudo entre a radiação solar estimada e a radiação solar medida em superfície, atribuídas à ação de aerossóis, com modelos de transferência radiativa diversos. Dessa forma, seria possível testar os modelos de transferência radiativa para regiões com dados de superfície conhecidos e em outros casos, onde os dados não são conhecidos, estabelecer a relação obtida e reduzir os erros e desvios desses modelos.

A possibilidade de avaliar dinamicamente o potencial solar do território brasileiro sugere que os tomadores de decisão e empresários da área de energia possam utilizar como ferramentas acessíveis, as imagens de satélite, e expandir o monitoramento da radiação solar terrestre nos locais mais longínquos, permitindo identificar nichos do mercado energético até então, desconhecidos, evitando investimentos mal direcionados e aumentando a operacionalidade de plantas de energia solar e as chances de sucesso dos empreendimentos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANCHES, S. **Climate Agenda as an Agenda for Development in Brazil: A Policy Oriented Approach (2009)**. Toronto: APSA, 2009. Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=1451439>>. Acesso em: 15 dez. 2014.

ACKER, J.; LEPTOUKH, G.; KEMPLER, S.; BERRICK, S.; RUI, H.; SHEN, S. **Application of NASA Giovanni to coastal zone remote sensing research**. 2007. Disponível em: <http://www.earsel.org/SIGCZ/3rd_CZ_workshop/publications/wscz2007-acker.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2014.

AGUIAR, D.A.; RUDORFF, B.F.T.; SILVA, W.F.; ADAMI, M.; MELLO, M.P. Remote Sensing Images in Support of Environmental Protocol: Monitoring the Sugarcane Harvest in São Paulo State, Brazil. **Remote Sensing**, v.3, p. 2682-2703, 2011.

ALVES, C.. **Aerossóis atmosféricos: Perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica**. São Paulo: Química Nova, 2005.

ANDERSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; CARVALHO JUNIOR, O. A.. **Sensor MODIS: uma abordagem geral**, 2003.

ANDRADE, Maria de Fatima. **Identificação de Fontes da Matéria Particulada do Aerossol Atmosférico De São Paulo**. 1993. Tese (Doutorado em Física Nuclear) - Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43131/tde-072013-164055/>>. Acesso em: 30 jan. 2014.

ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; RIZZO, L. V.; Pires, C.; Paixão, M. A.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; CORREIA, A. L.. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 1-22, 2006.

ARTAXO, P.; HANSSON, H.C.. Size Distribution of Biogenic Aerosol Particles from The Amazon Basin. **Atmospheric Environment**, v. 29, p. 393-402, 1995.

ARTAXO, P.; GERAB, F.; YAMASOE, M.A.; MARTINS, J.V.; 1994. Fine Mode Aerosol Composition in Three Long Term Atmospheric Monitoring Sampling Stations in the Amazon Basin. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, p. 22857-22868, 1994.

ARTAXO, Paulo ; MAENHAUT, W.; STORMS, H.; VAN GRIEKEN, R.. Aerosol Characteristics and Sources for the Amazon Basin During the Wet Season. **Journal of Geophysical Research**, v. 95, p. 16971-16985, 1990.

ASSUNÇÃO, J. V. de; PESQUERO, C. R. Dioxinas e Furanos: origens e risco. **Revista de Saúde Pública / Journal of Public Health**, São Paulo, v. 33, p. 523-530, 1999.

ARYA, S. P.. **Introduction to micrometeorology**. London: Academic, 1988. 307p.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J.. **Atmosfera, Tempo e Clima**. Londres: Routledge, 2010. 516p.

BEZERRA, M. A.; ETCHEBEHERE, M. L.; SAAD, A. R.; CASADO, F. C., Análise Geoambiental da Região de Marília, SP: Suscetibilidade a Processos Erosivos Frente ao Histórico de Ocupação da Área - São Paulo, **Revista de Geociências UNESP**, São Paulo v. 28, p. 425-440, 2009.

BOTTINO, M. J. ; CEBALLOS, J. C.; LIMA, W. F. A.. Classificação de Nuvens em Imagens Multiespectrais GOES-8 na Região Amazônica: Comparação com Radiossondagens. In: **Third LBA scientific conference**, 2004, Brasília. CD-ROM, 2004.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASSEUR, G.P.; ORLANDO, J. J.; TYNDALL, G.S. **Atmospheric Chemistry and Global Change**. New York. USA: Oxford University Press, 1999. 654p.

CASTANHO, A.D.A. **Propriedades Ópticas das Partículas de Aerossol e Uma Nova Metodologia Para a Obtenção de Espessura Óptica Via Satélite Sobre São Paulo**. 2005 – 250f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

CEBALLOS, J. C.; BOTTINO, M. J.. Estimativa de radiação solar por satélite: Desempenho do modelo operacional GL 1.2. In: **Anais, XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Fortaleza, 2004 a.

CEBALLOS, J. C.; BOTTINO, M. J. ; SOUZA, J. M.. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES-E imagery. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, p. 1029, 2004 b.

CETESB – QUALAR. CETESB, 2014. Apresenta os dados de qualidade do ar disponíveis, permite exportar as informações, criar e visualizar relatórios diversos. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/32-qualar>>. Acesso em 15 jun. 2014.

CEPAGRI METEOROLOGIA UNICAMP. CEPAGRI, 2014. Apresenta a classificação climática dos municípios paulistas e outras informações meteorológicas. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em 15 set. 2014.

DALLAROSA, J.B. **Estudo da Formação e Dispersão de Ozônio Troposférico da Formação e Dispersão de Ozônio Troposférico em Áreas de Atividade de Processamento de Carvão Aplicando Modelos Numéricos**. 2005 - 124f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DIVISÃO DE SATÉLITES E SISTEMAS AMBIENTAIS – RADIAÇÃO SOLAR E TERRESTRE. CPTEC/INPE, 2014. Apresenta imagens de satélite e produtos do Modelo GL 1.2 de radiação solar e terrestre. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/>>. Acesso em 15 nov. 2014.

ECHER, E.; SOUSA M. P.; SCHUCH, N. J. The beer's Law applied to the earth's atmosphere. **Revista Brasileira de Física**, São Paulo, v.23, p.276-283, 2001.

FIGUEIREDO, J.C.; PAZ, Romulo da Silveira. Nova classificação climática e o aspecto climatológico da cidade de Bauru/ São Paulo. In: **Anais XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2010, Belém - Pará. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010.

FINLAYSON-PITTS BJ, PITTS JN JR; **Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere—Theory, Experiments, and Applications**. San Diego: Academic San Diego, 2000.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade Ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP**. 2012 - 141f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2012.

GALVÃO, A. M. E CEBALLOS, J. C. Sistema de gerenciamento e validação de dados de radiação solar. In: **Anais, XV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, São Paulo. CD-ROM, 2008.

GIOVANNI. NASA, 2014. Apresenta dados de produtos do sensor MODIS tais como aerossol, vapor d'água, cobertura de nuvens e outros. Disponível em: <http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=MODIS_DAILY_L3>. Acesso em 12 mar. 2014.

GUIMARÃES, P. L.. Zoneamento Geoambiental como Subsídio à Instalação e Monitoramento de Dutos. In: **Anais, XLIII Congresso Brasileiro de Geologia**, Aracaju, 2006.

HORVATH, H. Aerosols - an introduction. **Journal of Environmental Radioactivity**, v.51, p.5-25, 2000.

IBGE – Estimativas de População. IBGE, 2013. Apresenta relatórios com estimativas da população nos municípios brasileiros. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2013/estimativa_tcu.shtm>. Acesso em dez. 2014.

IPCC. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, The Physical Science Basis; Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. In: **Report of the Intergovernmental Panel on climate Change**, Cambridge, 2007.

JUSTICE, C.O.; GIGLIO, B.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J.T.; ROY, D.P.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 244-26, 2002.

LIU, Y., PACIOREK, J. C. AND KOUTRAKIS, P.. Estimating regional Spatial and Temporal Variability of PM 2.5 Concentrations Using Satellite Data, Meteorology, and Land Use Information. **Enviromental Health Perspectives**, v. 117, p. 886-892, 2009.

LOPES, P. M. O. ; VALERIANO, D. M.; SILVA, B. B.; MOURA, G. B. A.; SILVA, A. O. Simulação do saldo de radiação na Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 780-789, 2013.

KIRCHHOFF, V. W. J. H. **Introdução à Geofísica Espacial**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991. 149p.

LYONS, T. J.; SCOTT, W. D. **Principles of air pollution meteorology**. London: London Belhaven Press, 1990. 224p.

MANAHAN, S. E. **Fundamentals of Environmental Chemistry**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2001.

MARIANI, R. L. N. **Distribuição e Fontes dos Constituintes Inorgânicos Solúveis Associados às Partículas Inaláveis Grossas e Finas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2001 – 147 f. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2001.

MME – Ministério das Minas de Energia. Plano Nacional de Energia Elétrica 2030, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_1.pdf>. Acesso em 23 jan. 2014.

MOURA, R. G. **Estudo das Radiações Solar e Terrestre acima e dentro de uma Floresta Tropical Úmida**. 2001 – 146f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

MODIS ATMOSPHERE. NASA, 2014. Apresenta notícias, produtos, dados do sensor MODIS. Disponível em: <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/IMAGES/08_M3.html>. Acesso em 27 nov. 2014.

RAVEN, P. H.; BERG, L.R.; JOHNSON, G, B, **Environment Forth Worth**, Saunders College Publishing, 1995.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, Arnaldo Alves. **Introdução a Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

ROCHA LEÃO, O.M. **Evolução regressiva de redes de canais por fluxos de água subterrânea em cabeceiras de drenagem: bases geo-hidroecológicas para a recuperação de áreas degradadas com controle de erosão**. 2005 - 247 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

RUDORFF, B F T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A.. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1057-1076, 2010.

SEBER, G. A. F. **Linear regression analisys**. New York: John Wiley & Sons, 1977. 465p.

SEIBERT, P.; BEYRICH, F.; GRYNING, S-E.; JOFFRE, S.; RASMUSSEN, A.; TERCIER, P. Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height. **Atmospheric Environment**, v. 34, p. 1001-1027, 2000.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N., **Atmospheric chemistry and physics, from air pollution to climate change**. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2006.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N., **Atmospheric Chemistry and Physics: from Air Pollution to Climate Change**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1998.

SHAO, Y. **Physics and Modelling Wind Erosion**. Suíça: Springer International Publishing AG, 2008.

SISTEMA AMBIENTAL PAULISTA. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2014. Apresenta publicações ambientais, legislação ambiental estadual, notícias ambientais do Estado de São Paulo e outros. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/protocolo-agroambiental/o-protocolo/>>. Acesso em 02 nov. 2014.

SOARES, PAULO VALLADARES; PEREIRA, SUELI YOSHINAGA; SIMOES, SILVIO JORGE C.; PAULA BERNARDES, GEORGE; BARBOSA, SÉRGIO AUGUSTO; TRANNIN, ISABEL CRISTINA B.. The definition of potential infiltration areas in Guaratinguetá watershed, Paraíba do Sul Basin, Southeastern Brazil: an integrated approach using physical and land-use elements. **Environmental Earth Sciences**, v. 67, p. 1685-1694, 2012.

STRAHLER, A.; TOWNSHEND, J.; MUCHONEY, D.; BORAK, J.; FRIEDL, M.; GOPAL, S.; HYMAN, A.; MOODY, A.; LAMBIN, E.; 1996, MODIS Land Cover and Land-Cover Change. **Algorithm Theoretical Basis Document version 4.1**. 1996.

STRANDGREN, J., MEI, L., VOUNTAS, M., BURROWS, J. P., LYAPUSTIN, A., AND WANG, Y.. Study of satellite retrieved aerosol optical depth spatial resolution effect on particulate matter concentration prediction. **Atmos. Chem. Phys.**, v. 14, p. 25869-25899, 2014.

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht: Kluwer, 1988.

TRENBERTH KE, FASULLO J.T. (2012): Tracking Earth's energy: from El Niño to global warming. **Surveys in geophysics**, v. 33, p.413–426.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília: INMET, 2000.

VERNICH, L.; ZUANNI, F. About the minimum number of years required to stabilize the solar irradiation statistical estimates. **Solar Energy**, v.57, p.445-447, 1996.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R.: **Meteorologia básica e Aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1991. 449p.

WALLACE, J. M ; HOBBS P. V. **Atmospheric science: An introductory survey**. New York: Academic Press, 1977.

WHO - World Health Organization - **Air quality guidelines for Europe**. 2000. Disponível em: <<http://euro.who.int/document/e71922.pdf>> Acesso em: 16 nov. 2014.

WMO - **Sand and Dust Storm**. Warning Advisory and Assessment System. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/SDS_WAS_background.html>. Acesso em: 22 mar. 2014.

YAMASOE, M. A.; ARTAXO, P.; MIGUEL, A. H.; ALLEN, A. G. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of biomass burning in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements. **Atmospheric Environment**, v34, p.1.641-1.653, 2000.

YAMASOE, M. A.; 1999. **Estudo de propriedades ópticas de partículas de aerossóis a partir de uma rede de radiômetros solares**. São Paulo - 255f. Tese (Doutorado em Física), Instituto de Física da USP, São Paulo, 1999.

ZANCUL A. **O efeito da queimada de cana-de-açúcar na qualidade do ar da região de Araraquara**. São Carlos - 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos da USP, São Carlos, 1998.

ANEXO A - Códigos e ferramentas gráficas

Nesse trabalho a abordagem da regressão linear foi implementada por meio da utilização do software R, versão 3.1.2 (Copyright 2014 – R Foundation for Statistical Computing).

O software R é de acesso livre e possui um editor de script interno, que facilita a execução de comandos. Além do editor de Scripts o software R possui uma janela de *Console*, onde os resultados são apresentados, além da área de trabalho onde os gráficos gerados podem ser visualizados.

A seguir é apresentado o exemplo comentado que foi implementado para o município de Araçatuba, para análise de regressão linear das variáveis MP_{10} e EOA_{550} . Os comentários são precedidos pelo símbolo cerquilha (#) e os códigos estão destacados em itálico.

```
# Código R para análise de regressão linear simples  $EOA_{550}$  X  $MP_{10}$ 
# Vetor X( $MP_{10}$ ) - Vetor Y ( $EOA_{550}$ ):
X <- c (17.5, 23.5, 31.5, 43.0, 59.0, 73.0, 57.0, 59.0, 56.0, 27.0, 24.0,
        18.0, 21.0, 33.0, 45.0, 40.0, 28.0, 24.0, 45.0, 58.0, 75.0, 48.0,
        27.0, 17.0, 14.0, 14.0, 18.0, 27.0, 41.0, 25.0, 34.0, 47.0, 48.0,
        35.0, 28.0, 20.0)
Y <- c (0.032, 0.01, 0.016, 0.008, 0.037, 0.065, 0.043, 0.029, 0.126, 0.057, 0.027,
        0.044, 0.024, 0.015, 0.009, 0.023, -0.001, 0.017, 0.004, 0.012, 0.172, 0.108,
        0.061, 0.088, 0.1, 0.029, 0.033, 0.029, 0.058, 0.043, 0.012, 0.022, 0.043,
        0.091, 0.034, 0.039)
# cria o data.frame, pois os dados são analisados no formato par ordenado (x,y):
dados=data.frame(X,Y)
# testa se os pares ordenados foram formados, verifica se "dados" compõe um data.frame:
is.data.frame(dados)
# a variável regressão recebe a reta de regressão de Y dependente de X, a partir do
dataframe dados
regressão=lm(Y~X, data=dados)
regressão
# resume a análise da variável quantitativa "regressão"
summary(regressão)
```

```

# os resultados da função lm() são armazenados em um objeto, o valor retornado por lm()
deve ser uma lista.
# verifica se "regressão" é uma lista:
is.list(regressão)
# mostra todas as variáveis que podem ser extraídas do modelo "regressão" que inclusive
já apareceram no sumário
names(regressão)
# traça o gráfico de dispersão na tela para verificação inicial:
Z=plot (X,Y)
# aplica grade no gráfico:
grid (Z)
# traça a reta de regressão:
abline(regressão)
# mede o grau de associação entre as variáveis dependente e independente
cor(X,Y)
cor(X,Y)^2
# cria o arquivo imagem que receberá o gráfico de dispersão e a reta de regressão
configurada
jpeg(file='aodXmparac.jpeg')
# plota o gráfico de dispersão e a reta de dispersão configurada no arquivo criado:
plot(X,Y,xlab="Material Particulado - [µg m-3]",ylab="Espessura Óptica do
Aerossol",main="Regressão Linear Araçatuba",col="red",pch=22,bg="blue",
xlim=c(0,120),ylim=c(0,0.4))
grid (Z)
abline(regressão)
# fecha o arquivo jpeg:
dev.off()

```

Após compilar o código, além da figura criada com o gráfico de dispersão e a reta de regressão, outras informações estatísticas da abordagem de regressão linear apresentam-se como exemplificado a seguir por meio dos resultados obtidos para o município de Araçatuba:

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.04554	-0.02539	-0.00820	0.01176	0.10340

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.0197967	0.0147983	1.338	0.19
X	0.0006508	0.0003729	1.745	0.09 .

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.03674 on 34 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.0822, Adjusted R-squared: 0.0552

F-statistic: 3.045 on 1 and 34 DF, p-value: 0.09002

Significado dos Resultados

Os resultados gerados na Área de Trabalho do aplicativo R apresentaram análise de resíduos da reta linear, por meio de estatísticas descritivas simples (resíduos) acionadas pelo comando *summary* detectou algumas informações sobre a população da amostra, conforme descrito a seguir:

- Mínimo: representa o menor elemento da amostra;
- Máximo: representa o maior elemento da amostra;
- Mediana: divide a amostra em duas partes, deixando 50% das observações abaixo e 50% das observações acima;
- Quartis (1º e 3º): representam os valores dados a partir do conjunto de observações ordenado em ordem crescente, que dividem a distribuição em quatro partes iguais. O primeiro quartil, Q1, é o número que deixa 25% das observações abaixo e 75% acima, enquanto que o terceiro quartil, deixa 75% das observações abaixo e 25% acima.

Os resultados gerados na Área de Trabalho do aplicativo R também apresentaram estimativas da reta linear, dos coeficientes de determinação e correlação de Pearson, dos resíduos e hipóteses detectados, conforme descrito a seguir:

- Intercepto estimado representado pela parte constante da reta linear;
- X estimado representado pela angulação da reta linear;
- Std. Error: Erro padrão no cálculo dos coeficientes Intercepto e X;

- $\text{Pr}(>|t|)$: Valor p associado a Hipótese nula do Intercepto e a Hipótese nula de X (a hipótese nula nesse caso é a negação de relação entre as variáveis analisadas e o valor p é a probabilidade de observar dados tão extremos quanto os obtidos se a hipótese nula for verdadeira.

A interpretação dos valores p ocorreu conforme a relação dos códigos de significância:

$P \geq 0.1$ – Não existe evidência contra H_0 ;

$P < 0.1$ – Fraca evidência contra H_0 ;

$P < 0.05$ – Evidência significativa contra H_0 ;

$P < 0.01$ – Evidência altamente significativa contra H_0 ;

$P < 0.001$ – Evidência mais que altamente significativa contra H_0 ;

Em ambos os casos observamos uma fraca evidência contra a hipótese nula que supõe que as variáveis não possuem relação linear, o que foi confirmado pela correlação fraca, contudo fisicamente a relação entre a concentração de material particulado de superfície espessura óptica do aerossol existe, logo não basta apenas efetuarmos a análise estatística.

Além dos resultados já descritos, na área de trabalho do aplicativo R os principais resultados da regressão linear abordada são:

- Erro Padrão (Residual standard error), que representa uma estimativa da variabilidade da média, em função do tamanho da amostra;

- Coeficiente de determinação (Multiple R-squared), que representa a porcentagem da variação da variável dependente explicada pela variável independente para aquelas amostras selecionadas;

- Coeficiente de Determinação Ajustado (Adjusted R-squared) é calculado ajustado para os graus de liberdade associados às somas dos quadrados, para o caso de aumentar o número de amostras.

- Estatísticas F (F-statistic) são utilizadas para testar a hipótese de que todos os coeficientes da regressão (excluindo a constante) são nulos.

Código para análise de regressão linear da Radiação Global do modelo GL X Radiação Global de Superfície

```
# Código R para análise de regressão linear simples Radiação GL X Radiação Superfície
# Vetor X(Radiação de Superfície) - Vetor Y (Radiação do Modelo GL):
X <- c (205.2, 256.7, 228.6, 280.7, 295.9, 226.2, 257.8, 206.6, 176.9, 151.2, 226.5,
        249.7, 278, 274.2, 264.5, 245.6, 251.8, 204.6, 189.8, 164.8, 184, 229.9,
        239.1, 286.3, 283.6, 296.4)
Y <- c (216, 262, 217, 275, 290, 237, 254, 167, 189, 157, 241,
        241, 270, 268, 269, 240, 246, 206, 193, 168, 195, 239,
        235, 256, 255, 266)

# cria o data.frame, pois os dados são analisados no formato par ordenado (x,y):
dados=data.frame(X,Y)

# testa se os pares ordenados foram formados, verifica se "dados" compõe um data.frame:
is.data.frame(dados)

# cria a variável regressão que recebe a reta de regressão de Y dependente de X, a partir
# do dataframe dados
regressão=lm(Y~X, data=dados)
regressão

# resume a análise da variável quantitativa "regressão"
summary(regressão)

# os resultados da função lm() são armazenados em um objeto, o valor retornado por lm()
# deve ser uma lista.
# verifica se "regressão" é uma lista:
is.list(regressão)

# mostra todas as variáveis que podem ser extraídas do modelo "regressão" que inclusive
já apareceram no sumário
names(regressão)

# traça o gráfico de dispersão na tela para verificação inicial:
Z=plot (X,Y)

# aplica grade no gráfico para visualização na tela:
grid (Z)

# traça a reta de regressão para verificação na tela:
abline(regressão)
```

```
# mede o grau de associação entre as variáveis dependente e independente
cor(X,Y)
cor(X,Y)^2
# cria o arquivo imagem que receberá o gráfico de dispersão e a reta de regressão
configurada jpeg(file='aglXradsjrp.jpeg')
# plota o gráfico de dispersão e configura a reta de dispersão no arquivo criado:
plot(X,Y,xlab="Radiação do Modelo Gl - Wm.-2 ",ylab="Radiação de Superfície - Wm-
2",main="Radiação Superfície X Radiação Modelo Gl - São José do Rio
Preto",col="red",pch=22,bg="blue", font.main= 96, xlim=c(0,350),ylim=c(0,350))
# acrescenta um identificador alfanumérico ao gráfico abaixo do texto
mtext("(H)")
# aplica grade no arquivo de saída
grid (Z)
# traça a reta de regressão configurada no arquivo de saída
abline(regressão)
# fecha o arquivo jpeg:
dev.off()
```

Gráficos no GNUPLOT

O Gnuplot é um software que utiliza linhas de comando, com aplicação gráfica portátil para Linux, OS / 2, MS Windows, OSX, VMS, e outras plataformas. O código-fonte é protegido por direitos autorais, mas distribuído gratuitamente (ou seja, não é necessário pagar pelo aplicativo).

Os arquivos foram editados num editor de texto, salvos com a extensão “gnu” e compilados no Linux a partir do comando:

Gnuplot nomedoarquivo.gnu

Os comentários são antecidos pelo símbolo cerquilha (#) e os comandos apresentam-se em itálico:

Código para traçar gráfico MP₁₀ mensal dos municípios selecionados

```
#gera postscript colorido na saída com recursos avançados (sobrescrito, subscrito, fontes
diversas)
set term postscript enhanced color
```

```

# determina o tamanho da tela preenchida
set size 0.5,0.5
# escreve a legenda no topo direito
set key right top
# ajusta a fonte e o espaçamento da legenda
set key samplen 2 spacing .5 font ",8"
# configura o estilo das curvas do gráfico
set style line 1 linetype 1 linewidth 2 lc rgb "#cc0000"
set style line 2 linetype 2 linewidth 2 lc rgb "#00cc00"
set style line 3 linetype 3 linewidth 2 lc rgb "#0000cc"
# configura as linhas do gráfico intercaladas com pontos
set style data linespoints
# configura o eixo x para autoescala
set xrange [*:]
# configura o eixo y para variar de 0 até 80
set y range [0:80]
# configura o título do eixo x
set xlabel 'Mes'
# configura as marcas do eixo x
set xtics ("j" 1, "f" 2, "m" 3, "a" 4, "m" 5, "j" 6, "j" 7, "a" 8, "s" 9, "o" 10, "n" 11, "d" 12)
# configura o título do eixo y
set ylabel 'MP [{/Symbol m}m m-3]'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:Bold=10 Media Mensal de Material Particulado - Jacarei\n{*0.9 (C)}"
# configura a saída para Jacarei_MP1.ps
set output 'Jacarei_MP1.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém MP10 mensal de 2011, 2012 e 2013
de #Jacarei
plot 'Jacarei_MP.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Jacarei_MP.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Jacarei_MP.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico

```

```

set title "{/:Bold=10 Media Mensal de Material Particulado - Ribeirao Preto\n{ /*0.9
(F)}"
# configura a saída para Ribeirao_MP1.ps
set output 'Ribeirao_MP1.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém MP10 mensal de 2011, 2012 e 2013
de
# Ribeirão Preto
plot 'Ribeirao_MP.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Ribeirao_MP.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Ribeirao_MP.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:Bold=10 Media Mensal de Material Particulado - Santos\n{ /*0.9 (G)}"
# configura a saída para Ribeirao_MP1.ps
set output 'Santos_MP1.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém MP10 mensal de 2011, 2012 e 2013
de
# Santos
plot 'Santos_MP.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Santos_MP.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Santos_MP.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:Bold=10 Media Mensal de Material Particulado - Bauru\n{ /*0.9 (B)}"
# configura a saída para Bauru_MP1.ps
set output 'Bauru_MP1.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém MP10 mensal de 2011, 2012 e 2013
de
# Bauru
plot 'Bauru_MP.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Bauru_MP.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Bauru_MP.txt' using 1:4 w lp title '2013'
#configura o título principal do gráfico

```

```

set title "{/:\bold=10 Media Mensal de Material Particulado - Aracatuba\n{ /*0.9 (A)}"
# configura a saída para Aracatuba_MP1.ps
set output 'Aracatuba_MP1.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém MP10 mensal de 2011, 2012 e 2013
de
# Araçatuba
plot 'Aracatuba_MP.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Aracatuba_MP.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Aracatuba_MP.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:\bold=10 Media Mensal de Material Particulado - Marília\n{ /*0.9 (D)}"
# configura a saída para Marília_MP1.ps
set output 'Marília_MP1.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém MP10 mensal de 2011, 2012 e 2013
de
# Marília
plot 'Marília_MP.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Marília_MP.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Marília_MP.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:\bold=10 Media Mensal de Material Particulado - Presidente
Prudente\n{ /*0.9 (E)}"
# configura a saída para PresidentePrudente_MP1.ps
set output 'PresidentePrudente_MP1.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém MP10 mensal de 2011, 2012 e 2013
de
# Presidente Prudente
plot 'PresidentePrudente_MP.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'PresidentePrudente_MP.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'PresidentePrudente_MP.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico

```

```

set title "{/:Bold=10 Media Mensal de Material Particulado - Sao Jose do Rio
Preto\n{ /*0.9 (H)}"
# configura a saída para SjRioPreto_MP1.ps
set output 'SjRioPreto_MP1.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém MP10 mensal de 2011, 2012 e 2013
de
# São José do Rio Preto
plot 'SjRioPreto_MP.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
      'SjRioPreto_MP.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
      'SjRioPreto_MP.txt' using 1:4 w lp title '2013'

```

Código para traçar gráfico da precipitação mensal dos municípios selecionados

```

# gera postscript colorido na saída com recursos avançados (sobrescrito, subscrito, fontes
diversas)
set term postscript enhanced color
# determina o tamanho da tela preenchida
set size 0.5,0.5
# escreve a legenda no topo direito
set key right top
# ajusta a fonte e o espaçamento da legenda
set key samplen 2 spacing .5 font ",8"
# configura o estilo das curvas do gráfico
set style line 1 linetype 1 linewidth 2 lc rgb "#cc0000"
set style line 2 linetype 2 linewidth 2 lc rgb "#00cc00"
set style line 3 linetype 3 linewidth 2 lc rgb "#0000cc"
set style line 4 linetype 4 linewidth 2 lc rgb "#000ccc"
# configura as linhas do gráfico intercaladas com pontos
set style data linespoints
# configura o eixo x para autoescala
set xrange [*:]
# configura o eixo y para variar de 0 até 540
set yrange [0:540]

```

```

# configura o título do eixo x
set xlabel 'Mes'

# configura as marcas do eixo x
set xtics ("j" 1, "f" 2, "m" 3, "a" 4, "m" 5, "j" 6, "j" 7, "a" 8, "s" 9, "o" 10, "n" 11, "d" 12)

# configura o título do eixo y
set ylabel 'Precipitacao [mm]'

# configura o título principal do gráfico
set title "{/:Bold=10 Precipitacao Acumulada - Jacarei\n{/0.9 (C)}"

# configura a saída para Jacarei_Prec.ps
set output 'Jacarei_Prec.ps'

# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Precipitação mensal de #2011, 2012 e
# 2013 de Jacaré
plot 'Jacarei_Prec.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Jacarei_Prec.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Jacarei_Prec.txt' using 1:4 w lp title '2013' , \
    'Jacarei_Prec.txt' using 1:5 w lp title 'Normal Climatologica'

# configura o título principal do gráfico
set title "{/:Bold=10 Precipitacao Acumulada - Ribeirao Preto\n{/0.9 (F)}"

# configura a saída para Ribeirao_Prec.ps
set output 'Ribeirao_Prec.ps'

# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Precipitação mensal de 2011, 2012 e
# 2013 de Ribeirão
plot 'Ribeirao_Prec.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Ribeirao_Prec.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Ribeirao_Prec.txt' using 1:4 w lp title '2013' , \
    'Ribeirao_Prec.txt' using 1:5 w lp title 'Normal Climatologica'

# configura o título principal do gráfico
set title "{/:Bold=10 Precipitacao Acumulada - Santos\n{/0.9 (G)}"

# configura a saída para Santos_Prec.ps
set output 'Santos_Prec.ps'

# plota as curvas num mesmo gráfico

```

```

# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Precipitação mensal de #2011, 2012
e
# 2013 de Santos
plot 'Santos_Prec.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Santos_Prec.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Santos_Prec.txt' using 1:4 w lp title '2013' , \
    'Santos_Prec.txt' using 1:5 w lp title 'Normal Climatologica'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/Bold=10 Precipitacao Acumulada - Bauru\n{ /*0.9 (B)}"
# configura a saída para Bauru_Prec.ps
set output 'Bauru_Prec.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Precipitação mensal de #2011, 2012
e
# 2013 de Bauru
plot 'Bauru_Prec.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Bauru_Prec.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Bauru_Prec.txt' using 1:4 w lp title '2013' , \
    'Bauru_Prec.txt' using 1:5 w lp title 'Normal Climatologica'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/Bold=10 Precipitacao Acumulada - Aracatuba\n{ /*0.9 (A)}"
# configura a saída para Aracatuba_Prec.ps
set output 'Aracatuba_Prec.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Precipitação mensal de 2011, 2012 e
# 2013 de Aracatuba
plot 'Aracatuba_Prec.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Aracatuba_Prec.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Aracatuba_Prec.txt' using 1:4 w lp title '2013' , \
    'Aracatuba_Prec.txt' using 1:5 w lp title 'Normal Climatologica'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/Bold=10 Precipitacao Acumulada - Marilia\n{ /*0.9 (D)}"
# configura a saída para Marilia_Prec.ps
set output 'Marilia_Prec.ps'

```

```

# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Precipitação mensal de 2011, 2012 e
# 2013 de Marília
plot 'Marilia_Prec.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Marilia_Prec.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Marilia_Prec.txt' using 1:4 w lp title '2013' , \
    'Marilia_Prec.txt' using 1:5 w lp title 'Normal Climatologica'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:Bold=10 Precipitacao Acumulada - Presidente Prudente\n{ /*0.9 (E)}"
# configura a saída para PresidentePrudente_Prec.ps
set output 'PresidentePrudente_Prec.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Precipitação mensal de #2011, 2012
e
# 2013 de Presidente Prudente
plot 'PresidentePrudente_Prec.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'PresidentePrudente_Prec.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'PresidentePrudente_Prec.txt' using 1:4 w lp title '2013' , \
    'PresidentePrudente_Prec.txt' using 1:5 w lp title 'Normal Climatologica'
#configura o título principal do gráfico
set title "{/:Bold=10 Precipitacao Acumulada - Sao Jose do Rio Preto\n{ /*0.9 (H)}"
# configura a saída para SaoJoseRioPreto_Prec.ps
set output 'SaoJoseRioPreto_Prec.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Precipitação mensal de #2011, 2012
e
# 2013 de São José do Rio Preto
plot 'SaoJoseRioPreto_Prec.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'SaoJoseRioPreto_Prec.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'SaoJoseRioPreto_Prec.txt' using 1:4 w lp title '2013' , \
    'SaoJoseRioPreto_Prec.txt' using 1:5 w lp title 'Normal Climatologica'

```

Código para traçar gráfico da EOA₅₅₀ dos municípios selecionados

```
# gera postscript colorido na saída com recursos avançados (sobrescrito, subscrito, fontes
diversas)
set term postscript enhanced color
# determina o tamanho da tela preenchida
set size 0.5,0.5
# escreve a legenda no topo direito
set key right top
# ajusta a fonte e o espaçamento da legenda
set key samplen 2 spacing .5 font ",8"
# configura o estilo das curvas do gráfico
set style line 1 linetype 1 linewidth 2 lc rgb "#cc0000"
set style line 2 linetype 2 linewidth 2 lc rgb "#00cc00"
set style line 3 linetype 3 linewidth 2 lc rgb "#0000cc"
# configura as linhas do gráfico intercaladas com pontos
set style data linespoints
# configura o eixo x para autoescala
set xrange [*:]
# configura o eixo y para variar de -0.1 até 0.3
set yrange [-0.1:0.3]
# configura o título do eixo x
set xlabel 'Mes'
# configura as marcas do eixo x
set xtics ("j" 1, "f" 2, "m" 3, "a" 4, "m" 5, "j" 6, "j" 7, "a" 8, "s" 9, "o" 10, "n" 11, "d" 12)
# configura o título do eixo y
set ylabel 'EOA - Sem Unidade'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:Bold=10 Media Mensal de EOA550 - Jacarei\n{/0.9 (C)}"
# configura a saída para Jacarei_AOD.ps
set output 'Jacarei_AOD.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém EOA550 mensal de #2011, 2012 e
2013 # de Jacaré
```

```

plot 'Jacarei_AOD.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Jacarei_AOD.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Jacarei_AOD.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/Bold=10 Media Mensal de EOA550 - Ribeirao Preto\n{ /*0.9 (F) }}"
# configura a saída para Ribeirao_AOD.ps
set output 'Ribeirao_AOD.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém EOA550 mensal de #2011, 2012 e
2013 # de Ribeirão Preto
plot 'Ribeirao_AOD.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Ribeirao_AOD.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Ribeirao_AOD.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/Bold=10 Media Mensal de EOA550 - Santos\n{ /*0.9 (G) }}"
# configura a saída para Santos_AOD
set output 'Santos_AOD.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém EOA550 mensal de #2011, 2012 e
2013 # de Santos
plot 'Santos_AOD.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Santos_AOD.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Santos_AOD.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/Bold=10 Media Mensal de EOA550 - Bauru\n{ /*0.9 (B) }}"
#configura a saída para Bauru_AOD
set output 'Bauru_AOD.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém EOA550 mensal de #2011, 2012 e
2013 # de Bauru
plot 'Bauru_AOD.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Bauru_AOD.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Bauru_AOD.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico

```

```

set title "{/:\bold=10 Media Mensal de EOA550 - Aracatuba\n{ /*0.9 (A)}"
# configura a saída para Aracatuba_AOD
set output 'Aracatuba_AOD.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém EOA550 mensal de #2011, 2012 e
2013 # de Araçatuba
plot 'Aracatuba_AOD.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Aracatuba_AOD.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Aracatuba_AOD.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:\bold=10 Media Mensal de EOA550 - Marília\n{ /*0.9 (D)}"
# configura a saída para Marília_AOD
set output 'Marilia_AOD.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém EOA550 mensal de #2011, 2012 e
2013 de Marília
plot 'Marilia_AOD.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Marilia_AOD.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Marilia_AOD.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:\bold=10 Media Mensal de EOA550 - Presidente Prudente\n{ /*0.9 (E)}"
# configura a saída para Presidente Prudente_AOD
set output 'PresidentePrudente_AOD.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém EOA550 mensal de #2011, 2012 e
2013 # de Presidente Prudente
plot 'PresidentePrudente_AOD.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'PresidentePrudente_AOD.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'PresidentePrudente_AOD.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:\bold=10 Media Mensal de EOA550 - Sao Jose do Rio Preto\n{ /*0.9 (H)}"
# configura a saída para SaoJoseRioPreto_AOD
set output 'SaoJoseRioPreto_AOD.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico

```

conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém EOA550 mensal de #2011, 2012 e 2013 # de São José do Rio Preto

```
plot 'SaoJoseRioPreto_AOD.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
      'SaoJoseRioPreto_AOD.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
      'SaoJoseRioPreto_AOD.txt' using 1:4 w lp title '2013'
```

Código para tração gráfico da radiação mensal dos municípios selecionados

gera postscript colorido na saída com recursos avançados(sobrescrito, subscrito, fontes diversas)

```
set term postscript enhanced color
```

determina o tamanho da tela preenchida

```
set size 0.5,0.5
```

posiciona a legenda no topo direito

```
set key right top
```

ajusta a fonte e o espaçamento da legenda

```
set key samplen 2 spacing .5 font ",8"
```

configura o estilo das curvas do gráfico

```
set style line 1 linetype 1 linewidth 2 lc rgb "#cc0000"
```

```
set style line 2 linetype 2 linewidth 2 lc rgb "#00cc00"
```

```
set style line 3 linetype 3 linewidth 2 lc rgb "#0000cc"
```

configura as linhas do gráfico intercaladas com pontos

```
set style data linespoints
```

configura o eixo x para autoescala

```
set xrange [*:]
```

configura o eixo y para variar de 0 até 350

```
set yrange [0:350]
```

configura o título do eixo x

```
set xlabel 'Mes'
```

configura as marcas do eixo x

```
set xtics ("j" 1, "f" 2, "m" 3, "a" 4, "m" 5, "j" 6, "j" 7, "a" 8, "s" 9, "o" 10, "n" 11, "d" 12)
```

configura o título do eixo y

```
set ylabel 'Rad [W m-2]'
```

configura o título principal do gráfico

```

set title "{/:\bold=10 Media Mensal de Radiação Global - Jacareí}"
# configura a saída para Jacarei_Rad
set output 'Jacarei_Rad.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Radiação mensal de #2011, 2012 e
2013 de Jacareí
plot 'Jacarei_Rad.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Jacarei_Rad.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Jacarei_Rad.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:\bold=10 Media Mensal de Radiação Global - Ribeirão Preto}"
# configura a saída para Ribeirao_Rad
set output 'Ribeirao_Rad.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Radiação mensal de #2011, 2012 e
2013 de Ribeirão Preto
plot 'Ribeirao_Rad.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Ribeirao_Rad.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Ribeirao_Rad.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:\bold=10 Media Mensal de Radiação Global - Santos}"
# configura a saída para Santos_Rad
set output 'Santos_Rad.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Radiação mensal de #2011, 2012 e
2013 de Santos
plot 'Santos_Rad.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
    'Santos_Rad.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
    'Santos_Rad.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:\bold=10 Media Mensal de Radiação Global - Bauru}"
# configura a saída para Bauru_Rad
set output 'Bauru_Rad.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico

```

conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Radiação mensal de #2011, 2012 e 2013 de Bauru

```
plot 'Bauru_Rad.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
```

```
    'Bauru_Rad.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
```

```
    'Bauru_Rad.txt' using 1:4 w lp title '2013'
```

configura o título principal do gráfico

```
set title "{/Bold=10 Media Mensal de Radiação Global - Araçatuba}"
```

configura a saída para Aracatuba_Rad

```
set output 'Aracatuba_Rad.ps'
```

plota as curvas num mesmo gráfico

conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Radiação mensal de #2011, 2012 e 2013 de Aracatuba

```
plot 'Aracatuba_Rad.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
```

```
    'Aracatuba_Rad.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
```

```
    'Aracatuba_Rad.txt' using 1:4 w lp title '2013'
```

configura o título principal do gráfico

```
set title "{/Bold=10 Media Mensal de Radiação Global - Marília}"
```

configura a saída para Marília_Rad

```
set output 'Marilia_Rad.ps'
```

plota as curvas num mesmo gráfico

conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Radiação mensal de #2011, 2012 e 2013 de Marília

```
plot 'Marilia_Rad.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
```

```
    'Marilia_Rad.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
```

```
    'Marilia_Rad.txt' using 1:4 w lp title '2013'
```

configura o título principal do gráfico

```
set title "{/Bold=10 Media Mensal de Radiação Global - Presidente Prudente}"
```

configura a saída para PresidentePrudente_Rad

```
set output 'PresidentePrudente_Rad.ps'
```

plota as curvas num mesmo gráfico

conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Radiação mensal de #2011, 2012 e 2013 de Presidente Prudente

```
plot 'PresidentePrudente_Rad.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
```

```
    'PresidentePrudente_Rad.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
```

```

'PresidentePrudente_Rad.txt' using 1:4 w lp title '2013'
# configura o título principal do gráfico
set title "{/:Bold=10 Media Mensal de Radiação Global - Sao Jose do Rio Preto}"
# configura a saída para SJRioPreto_Rad
set output 'SjRioPreto_Rad.ps'
# plota as curvas num mesmo gráfico
# conforme o conteúdo dos arquivos txt que contém Radiação mensal de #2011, 2012 e
2013 de São José do Rio Preto
plot 'SjRioPreto_Rad.txt' using 1:2 w lp title '2011' , \
'SjRioPreto_Rad.txt' using 1:3 w lp title '2012' , \
'SjRioPreto_Rad.txt' using 1:4 w lp title '2013'

```

Utilização da ferramenta GRADS para extração dos pontos de grade selecionados

O GRADS (Grid Analysis and Display System) é essencialmente um software para visualização e análise de dados em pontos de grade. É um software livre que pode ser baixado na internet, podendo ser implementado em sistemas UNIX (*workstations*), LINUX e Windows.

No formato binário, para visualização de dados pelo GrADS, utilizou-se dois arquivos, o arquivo de dados no formato binário e o arquivo descritor, disponibilizados pelo grupo de Radiação da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais.

O ctl é um arquivo no formato ASCII que descreve as características do arquivo de dados, este arquivo apresenta o nome do arquivo de dados, as coordenadas dos dados, o número de variáveis e o nome (abreviatura) das variáveis.

O arquivo binário foi disponibilizado para cada mês no período de 2011 e 2013. No GrADS é possível confeccionar scripts que contêm todos os comandos necessários para realizar uma tarefa num arquivo texto. O trabalho foi efetuado sem a necessidade de inserção dos comandos um a um na tela. Os comandos do GRADS apresentam-se entre apóstrofes e os comentários antecidos pelo símbolo asterisco (*). O *script* foi executado por meio do comando run seguido do nome do *script*, na tela de comandos. Segue o *script* implementado para o município de Bauru, no diretório de compilação do código onde estavam presentes os arquivos Bin e ctl utilizados:

Os resultados foram armazenados no arquivo bauru.txt.

Código Grads (linha de comando) para extrair radiação estimada pelo modelo GL para o município de Bauru

```

*inicia o código
'reinit'

*abre o arquivo ctl de janeiro de 2011
'open gc.1101.bin.ctl'

*seleciona a latitude, longitude e o z (altitude)
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'

*mostra na tela o campo bin desejado, dividido por 10
'd bin/10'

*extrai a quarta palavra do conjunto de caracteres
rad=subwrd(result,4)

*apresenta a variável rad na tela
say rad

*escreve a variável rad lida no arquivo bauru.txt
teste=write('bauru.txt',rad)

*escreve um espaço entre as variáveis
teste=write('bauru.txt'," ")

* Repete-se o procedimento para todos os meses dos anos analisados:
'reinit'
'open gc.1102.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*
'reinit'
'open gc.1103.bin.ctl'

```

```

'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1104.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1105.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1106.bin.ctl'
'set lat -22'

```

```

'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1107.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1108.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1109.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'

```

```

'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
teste=close('bauru.txt')
*
*
'reinit'
'open gc.1110.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*
'reinit'
'open gc.1111.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*
'reinit'
'open gc.1112.bin.ctl'

```

```

'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1201.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1202.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1203.bin.ctl'
'set lat -22'

```

```
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
```

```
*
```

```
'reinit'
'open gc.1204.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
```

```
*
```

```
'reinit'
'open gc.1205.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
```

```
*
```

```
'reinit'
```

```

'open gc.1206.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1207.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1208.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1209.bin.ctl'

```

```
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
```

```
*
```

```
'reinit'
'open gc.1210.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
```

```
*
```

```
'reinit'
'open gc.1211.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
```

```
*
```

```
'reinit'
```

```
'open gc.1212.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
```

```
*
```

```
'reinit'
'open gc.1301.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
```

```
*
```

```
'reinit'
'open gc.1302.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
```

```
*
```

```
'reinit'
```

```

'open gc.1303.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1304.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")

*

'reinit'
'open gc.1305.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'

```

```

'open gc.1306.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1307.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1308.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1309.bin.ctl'

```

```

'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1310.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1311.bin.ctl'
'set lat -22'
'set lon -49'
'set lev 1'
'd bin/10'
rad=subwrd(result,4)
say rad
teste=write('bauru.txt',rad)
teste=write('bauru.txt'," ")
*

'reinit'
'open gc.1312.bin.ctl'
'set lat -22'

```

```
'set lon -49'  
'set lev 1'  
'd bin/10'  
rad=subwrd(result,4)  
say rad  
teste=write('bauru.txt',rad)  
teste=write('bauru.txt'," ")  
teste=close('bauru.txt')  
'quit'
```