

HUDSON ROSEMBERG POCESCHI E CAMPOS

**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E
INCIDÊNCIA DE DENGUE UTILIZANDO MÉTODOS ESTATÍSTICOS
E REDES NEURAS ARTIFICIAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C198e
2009

Campos, Hudson Rosenberg Poceschi e, 1975-
Estudo das relações entre variáveis meteorológicas e
incidência de dengue utilizando métodos estatísticos e redes
neurais artificiais / Hudson Rosenberg Poceschi e Campos.
– Viçosa, MG, 2009.
xviii, 81f.: il. ; 29cm.

Orientador: Flávio Barbosa Justino.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 79-81.

1. Climatologia. 2. Mudanças climáticas. 3. Dengue
4. Redes neurais (Computação). I. Universidade Federal de
Viçosa. II. Título.

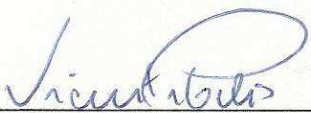
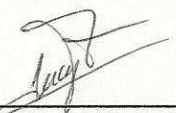
CDD 22.ed. 551.6

HUDSON ROSEMBERG POCESCHI E CAMPOS

**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E
INCIDÊNCIA DE DENGUE UTILIZANDO MÉTODOS ESTATÍSTICOS
E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de junho de 2009.

 _____ Vicente de Paula Lelis	 _____ Sérgio Zolnier
 _____ Lucy Tiemi Takahashi (Coorientadora)	 _____ Paulo José Hamakawa (Coorientador)
 _____ Flávio Barbosa Justino (Orientador)	

Pai,
ao senhor que sempre acreditou
que somente pelos estudos traçaríamos o melhor caminho,
dedico esta vitória.

*Seguir viagem
Tirar os pés do chão
Viver à margem
Correr na contra mão
A tua imagem... e perfeição
Segue comigo e me dá a direção*

*Se dizem que é impossível,
Eu digo: é necessário!
Se dizem que estou louco
Fazendo tudo ao contrário
Eu digo que é preciso,
Eu preciso, é necessário*

(Engenheiros do Hawaii)

*Nunca deixe que lhe digam
Que não vale a pena
Acreditar no sonho que se tem
Ou que seus planos nunca vão dar certo
Ou que você nunca vai ser alguém
Tem gente que machuca os outros
Tem gente que não sabe amar
Mas eu sei que um dia a gente aprende*

(14 Bis e Renato Russo)

AGRADECIMENTOS

De acordo com o protocolo, nesta parte eu deveria agradecer todas as pessoas que, de um modo ou de outro, contribuíram para essa minha grande conquista. Porém, dessa forma, eu me arriscaria a cometer algum tipo de injustiça com um ou outro amigo que, por qualquer motivo além das minhas forças, caísse no meu esquecimento.

Aproveito, então, para tornar geral os meus profundos votos de gratidão a todos aqueles que me acompanharam nessa trajetória até a conclusão da dissertação e do curso de mestrado. Incluo aqui todos mesmo, participantes da minha vida, desde que me tornei um acadêmico do curso de Agronomia, nos idos anos de 1997, passando pela graduação em Geografia, até a etapa atual.

Alguns votos, contudo, devem ser especiais... e serão: Dani, Malu, Gregório, D. Márcia, Rhodson, Aksan, Thalysan, Flávio, Hamakawa, Lucy, Zolnier, Graça, Jéferson, Cris, Anailton e Stefeson... sem vocês, o caminho seria ainda mais difícil.

Agradeço ainda à Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

E não poderia deixar de citar a FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos.

BIOGRAFIA

HUDSON ROSEMBERG POCESCHI E CAMPOS nasceu em Belo Horizonte, MG, em 9 de setembro de 1975.

Ingressou na Universidade Federal de Viçosa em 1997, para cursar Agronomia. Em 2001, por meio de vestibular, transferiu-se para o curso de Geografia, concluindo-o em 2004.

A partir de então, dedicou-se à carreira de magistério, trabalhando tanto na rede pública quanto na privada de Belo Horizonte e Viçosa.

Em janeiro de 2007 deu mais um passo importante na sua vida, ao casar-se com seu grande amor, Daniela Souza Cruz, tornando-se pai dos amados Maria Luiza e Gregório.

Em março de 2007, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, em nível de mestrado, sob a orientação dos professores Paulo José Hamakawa e Flávio Barbosa Justino.

Atualmente é professor contratado do Instituto Federal de Minas Gerais, campus Bambuí, onde leciona Geografia, Climatologia e Bioclimatologia.

O futuro? A Deus pertence...

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE SIGLAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. A dengue	6
2.2. O <i>Aedes aegypti</i>	9
2.2.1. A dengue no Brasil	11
2.3. A dengue e o clima	13
2.4. Redes neurais	15
2.4.1. Redes neurais artificiais (RNA)	17

	Página
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Análise da relação entre as variáveis meteorológicas e os casos de dengue utilizando Table Curve	22
3.2. Arquitetura da rede neural artificial (RNA)	23
3.2.1. Arquitetura da RNA para simulação da dengue utilizando os próprios casos de dengue	23
3.2.2. Arquitetura da RNA para simulação da dengue utilizando as variáveis meteorológicas	24
3.2.3. Arquitetura da RNA para simulação da dengue utilizando as variáveis meteorológicas juntamente com os dados de dengue	25
3.3. Caracterização socioeconômica e climática das cidades estudadas	27
3.3.1. Araçatuba	28
3.3.2. Araraquara	33
3.3.3. Campinas	38
3.3.4. Santos	43
3.3.5. São José do Rio Preto	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1. Análise da relação entre chuva semanal e casos de dengue ...	54
4.2. Análise da relação entre temperatura média e casos de dengue	63
4.3. Simulação da relação entre as variáveis meteorológicas e os casos de dengue utilizando redes neurais	72
5. CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS	79

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Diferenças entre o computador e o cérebro humano	17

LISTA DE FIGURAS

		Página
1	Três mecanismos principais dos processos climáticos que podem afetar a saúde da população	2
2	Distribuição da dengue no mundo em 2005	7
3	Taxa de incidência de dengue, por região brasileira, 1990-2005	13
4	Representação simplificada de um neurônio	16
5	Estrutura de uma RNA do tipo " <i>multilayer feedforward</i> "	21
6	Relação entre casos de dengue e temperatura máxima para o município de Campinas-SP em 2001	23
7	Arquitetura da rede neural para simulação da dengue a partir de casos de dengue	24
8	Arquitetura da rede neural para simulação da dengue a partir de variáveis meteorológicas e amplitude térmica	25
9	Arquitetura da rede neural para simulação da dengue a partir de variáveis meteorológicas e casos de dengue reais	26
10	Localização dos municípios estudados	27
11	Classificação climática de Koeppen do Estado de São Paulo .	28

12	Precipitação média mensal em Araçatuba, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007	29
13	Temperatura média mensal em Araçatuba, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007	29
14	Comportamento da precipitação mensal (a) e série temporal de precipitação normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Araçatuba	31
15	Comportamento médio da temperatura, no período de janeiro de 2001 a dezembro de 2007, para Araçatuba	32
16	Normalização das temperaturas máxima (a) e mínima (b), no período de 2001 a 2007, para Araçatuba	33
17	Precipitação média mensal em Araraquara, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007	34
18	Temperatura média mensal em Araraquara, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007	35
19	Comportamento da precipitação mensal (a) e série temporal de precipitação normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Araraquara	36
20	Comportamento médio da temperatura (a) e série temporal de temperatura média normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Araraquara	37
21	Normalização das temperaturas máxima (a) e mínima (b), no período de 2001 a 2007, para Araraquara	38
22	Precipitação média mensal em Campinas, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007	40
23	Temperatura média mensal em Campinas, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007	40
24	Comportamento da precipitação mensal (a) e série temporal de precipitação normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Campinas	41
25	Comportamento médio da temperatura (a) e série temporal de temperatura média normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Campinas	42

26	Normalização das temperaturas máxima (a) e mínima (b), no período de 2001 a 2007, para Campinas	43
27	Precipitação média mensal em Santos, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007	44
28	Temperatura média mensal em Santos, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007	45
29	Comportamento da precipitação mensal (a) e série temporal de precipitação normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Santos	46
30	Comportamento médio da temperatura (a) e série temporal de temperatura média normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Santos	47
31	Normalização das temperaturas máxima (a) e mínima (b), no período de 2001 a 2007, para Santos	48
32	Precipitação média mensal em São José do Rio Preto, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007	49
33	Temperatura média mensal em São José do Rio Preto, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007	50
34	Comportamento da precipitação mensal (a) e série temporal de precipitação normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para São José do Rio Preto	51
35	Comportamento médio da temperatura (a) e série temporal de temperatura média normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para São José do Rio Preto	52
36	Normalização das temperaturas máxima (a) e mínima (b), no período de 2001 a 2007, para São José do Rio Preto	53
37	Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2001	55
38	Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2002	56
39	Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2003	57

		Página
40	Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2004	59
41	Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2005	60
42	Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2006	61
43	Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2007	62
44	Casos de dengue versus temperatura média para o ano de 2001	64
45	Casos de dengue versus temperatura média para o ano de 2002	65
46	Casos de dengue versus temperatura média para o ano de 2003	66
47	Casos de dengue versus temperatura média para o ano de 2004	67
48	Casos de dengue versus temperatura média para o ano de 2005	68
49	Casos de dengue versus temperatura média para o ano de 2006	70
50	Casos de dengue versus temperatura média para o ano de 2007	71
51	Simulação dos casos de dengue para os municípios estudados, no período de 2001 a 2007	73
52	Simulação da dengue a partir das variáveis meteorológicas, no período de 2001 a 2007 (365 semanas epidemiológicas) ..	74
53	Simulação dos casos de dengue utilizando variáveis meteorológicas e casos de dengue para os municípios estudados, no período de 2001 a 2007	75

LISTA DE SIGLAS

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas Aplicadas à Agricultura.

CIIAgro – Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas.

CVE-SP – Centro de Vigilância Epidemiológica de São Paulo.

DEN 1, 2, 3 e 4 – Tipos de agentes etiológicos da dengue.

FUNASA – Fundação Nacional da Saúde.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IC – Inteligência Computacional.

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano.

IPCC – Intergovernmental Painel on Climate Change.

PEI – Período de Incubação Intrínseca.

PPD – Processamento Paralelo Distribuído.

RNA - Rede Neural Artificial.

SVS – Sistema de Vigilância Sanitária.

LISTA DE SÍMBOLOS

A_w – Clima tropical de verões úmidos e invernos secos.

N – Somatórios de entradas ponderadas em uma RNA.

u_i – Referente a um neurônio, na RNA.

w – Peso de um referido neurônio na RNA.

w_{ij} – Conexão em uma RNA.

Y – Saída de uma RNA.

f - Função em uma RNA.

Σ – Somatório em uma RNA.

RESUMO

CAMPOS, Hudson Rosemberg Poceschi e, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2009. **Estudo da relação entre variáveis meteorológicas e incidência de dengue utilizando métodos estatísticos e redes neurais artificiais.** Orientador: Flávio Barbosa Justino. Coorientadores: Lucy Tiemi Takahashi, Paulo José Hamakawa e Théa Mirian Medeiros Machado.

Neste trabalho avaliou-se a relação entre a dengue, causada pelo mosquito *Aedes aegypti*, e algumas variáveis meteorológicas. Um bom entendimento das relações entre variáveis meteorológicas e a dengue é crucial para a análise/entendimento dos potenciais impactos que as mudanças climáticas podem causar sobre a evolução da dengue, assim como pode contribuir para a elaboração de políticas públicas de prevenção da doença, em áreas epidêmicas e potencialmente epidêmicas. As taxas de transmissão da dengue estão relacionadas com fatores ambientais, fatores populacionais, comportamento humano bem como estão associadas a inter-relações entre estes fatores. Inicialmente utilizou-se uma Rede Neural Artificial (RNA) para simular os casos de dengue em cinco municípios do estado de São Paulo, sendo (i) variáveis de entrada das três últimas semanas de dengue, por semana epidemiológica (Dengue, Dengue-1 e Dengue-2), no ano de 2007 e (ii) dados de temperatura (máxima, mínima e média) e precipitação para simular a

dengue com a rede neural e, finalmente, (iii) todos os dados das situações (i) e (ii) anteriores. A rede utilizada para simular a dengue através dos casos da doença nas últimas três semanas mostrou-se bastante eficaz. Quando se utilizaram apenas os dados das variáveis meteorológicas, a rede não conseguiu simular a dengue nos municípios estudados, indicando que não foi possível simular a dengue apenas com dados climáticos. A simulação feita, utilizando todos os dados relacionados, apesar de resultados satisfatórios, demonstrou uma queda na qualidade da simulação, indicando que as variáveis meteorológicas diluem a capacidade de aprendizagem da rede. Para auxiliar no processo de análise, utilizou-se o software estatístico Table Curve para se encontrar as equações que regem as curvas da relação dengue – variáveis meteorológicas.

ABSTRACT

CAMPOS, Hudson Rosemberg Poceschi e, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2009. **Study of the relationship between meteorological variables and incidence of dengue using statistical methods and artificial neural networks.** Adviser: Flávio Barbosa Justino. Co-advisers: Lucy Tiemi Takahashi, Paulo José Hamakawa and Théa Mirian Machado Medeiros.

This work examines the relationship between dengue and some meteorological variables. A good understanding of the relationship between meteorological variables and dengue is crucial for the analysis/understanding of potential impacts that climate change can cause the development of dengue, as well as contributes to the development of public policies for prevention of disease in epidemic areas and potentially epidemic. The rate of transmission of dengue fever are related to environmental factors, population factors, human behavior and is associated with inter-relationships between these factors. Initially it was used an Artificial Neural Network (ANN) to simulate the cases of dengue in 5 municipalities of São Paulo state, and (i) input variables of the last three weeks of dengue, weekly epidemiological (Dengue, Dengue-1 and Dengue-2), (ii) data of temperature (maximum, minimum and average), and precipitation to simulate the neural network with dengue and (iii) all data of the situations (i) and (ii) above. The network used to simulate the dengue cases by

disease in the last three weeks proved to be very effective. When using only the data of meteorological variables, the network failed to simulate the dengue in the cities studied, indicating that it is not possible to simulate the dengue only with weather data. The simulation made using all data related, although satisfactory results, showed a fall in the quality of the simulation, indicating that the meteorological variables dilute the learning capacity of the network. To aid in the analysis process, the statistical software Table Curve was used to find the equations that govern the curves of the relationship primness – meteorological variables.

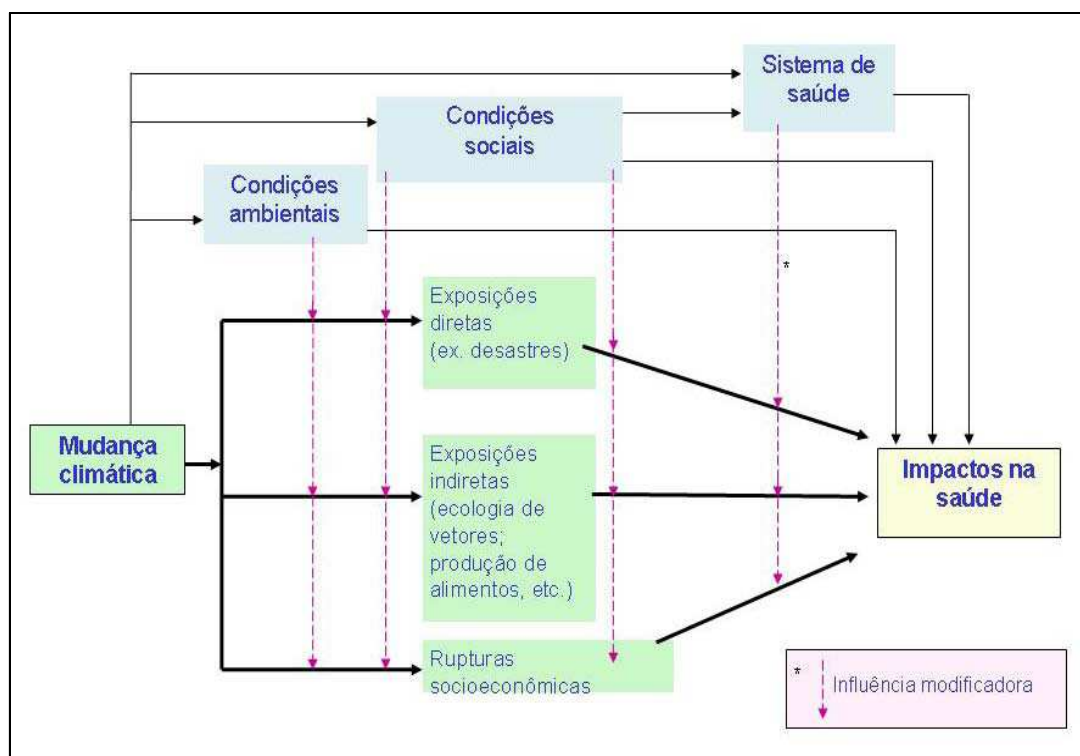
1. INTRODUÇÃO

A divulgação do quarto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), em 2007, proporcionou uma síntese do conhecimento científico acumulado nos últimos anos sobre as tendências do sistema climático global, bem como os possíveis impactos sócio-ambientais projetados de acordo com as mudanças do clima.

Segundo o relatório do IPCC, a saúde da população deve ser prioridade em uma realidade de desenvolvimento sustentável. Os seres humanos estão expostos diretamente às variações climáticas devido às alterações que o tempo sofre no dia-a-dia; por exemplo, no aumento na frequência de eventos climáticos extremos, como secas e tempestades e, de modo indireto, nos problemas que tais mudanças causam na disponibilidade de água potável, na qualidade do ar e na qualidade e quantidade de alimentos disponíveis. Essas exposições diretas e indiretas podem aumentar a vulnerabilidade humana a determinados tipos de doenças que são influenciadas pelas características climáticas locais. Populações que sofrem com elevadas taxas de doenças podem ter essa realidade agravada com o aumento das temperaturas e alteração no regime de chuvas nas regiões onde estão instaladas (CONFALIONIERI et al., 2007).

De acordo com Confalonieri et al. (2007) existem três mecanismos principais através dos quais os processos climáticos pode afetar a saúde da população, a saber (Figura 1):

- Efeitos diretos dos eventos climáticos extremos: estes afetam a saúde através de influências sobre a fisiologia humana, como nos casos de ondas de calor, ou provocando traumas físicos em acidentes, como em tempestades e inundações.
- Efeitos sobre o meio ambiente: alterando fatores determinantes na saúde humana. Exemplos mais relevantes são efeitos do clima afetando a produção de alimentos, a qualidade da água e do ar, e a ecologia de vetores de agentes infecciosos como, por exemplo, os mosquitos.
- Efeitos dos eventos climáticos sobre os processos sociais: determinando rupturas socioeconômicas, culturais e demográficas importantes. Um exemplo é a migração de grupos populacionais, desencadeada por secas prolongadas que afetam populações que dependem de agricultura de subsistência.



Fonte: Confaloneri et al. (2007).

Figura 1 – Três mecanismos principais dos processos climáticos que podem afetar a saúde da população.

A magnitude dos efeitos que operam através destes três mecanismos básicos dependerá, em grande medida, de fatores moduladores oriundos da natureza do meio ambiente, e da efetividade da proteção humana determinada pelos sistemas sociais e sistemas específicos de saúde. O grau de vulnerabilidade destes sistemas moduladores será importante na mitigação de impactos adversos, na resiliência das sociedades e na sua capacidade de recuperação dos impactos adversos (MARINHO; CONFALONIERI, 2007).

Segundo Confaloneri et al. (2007), na última década, estudos científicos já apontam impactos da mudança climática na saúde. Isto é um reflexo da maior preocupação entre os cientistas com os impactos do clima e sua interação com a biometeorologia. Como situações projetadas para o futuro, de acordo com estudos prévios, destacam-se:

- aumento na incidência de doenças diarréicas, em função da piora no acesso à água de boa qualidade, especialmente para uso doméstico;
- alterações na distribuição espacial e na dinâmica populacional de vetores de doenças infecciosas e parasitárias endêmicas, tais como as espécies de mosquitos que transmitem o dengue e a malária;
- aumento na incidência de doenças cardiovasculares e respiratórias, como consequência do aumento da concentração de poluentes atmosféricos (especialmente o ozônio troposférico), em grandes aglomerados urbanos já poluídos;
- aumento da mortalidade causada por eventos climáticos extremos, tais como tempestades, inundações, ondas de calor, secas e suas consequências, como incêndios florestais e
- aumento no contingente populacional exposto ao regime de insegurança alimentar, com piora na condição nutricional.

Neste trabalho avaliou-se a relação entre a dengue, causada pelo mosquito *Aedes aegypti*, e algumas variáveis meteorológicas. Um bom entendimento das relações entre variáveis meteorológicas e a dengue é crucial para a análise/entendimento dos potenciais impactos que as mudanças climáticas podem causar sobre a evolução da dengue, assim como pode contribuir para a elaboração de políticas públicas de prevenção da doença, em áreas epidêmicas e potencialmente epidêmicas.

A presença da dengue e de seu vetor em determinada região dependerá das características climáticas na qual esta região está submetida. As regiões localizadas na zona intertropical apresentam maior presença do mosquito vetor e maior incidência da doença.

Fatores externos à discussão, como o nível de desenvolvimento de cada cidade ou região, influenciam na ocorrência da doença (teoricamente, áreas com maior IDH apresentariam menor incidência de dengue, mesmo possuindo clima propenso ao desenvolvimento do vetor). Assim, duas perguntas são suscitadas: Até que ponto as características socioeconômicas podem limitar a presença da dengue? Quais seriam as variáveis meteorológicas mais importantes na facilitação do avanço do vetor e, conseqüentemente, da doença?

O uso das redes neurais pode indicar quais as variáveis meteorológicas possuem maior relevância para a presença da doença, indicando áreas onde a incidência de dengue pode aumentar, em caso de mudanças climáticas, ou seja, uma cidade onde a doença não está presente, por não possuir o clima ideal para o desenvolvimento do vetor poderá se tornar uma área de avanço para a doença, caso as suas características meteorológicas e climáticas sofram alguma mudança.

A utilização das redes neurais, neste trabalho, objetivou relacionar a incidência de dengue e variáveis meteorológicas, possibilitando a identificação de quais variáveis meteorológicas seriam a mais relevante para o local, abrindo caminho para estudos mais aprofundados da relação dengue e clima para o estado de São Paulo.

Neste trabalho serão utilizados como parâmetros de entrada os casos de dengue da última (dengue), da penúltima (dengue – 1) e antepenúltima semana epidemiológica (dengue – 2) dos municípios escolhidos como objeto de estudos, e os dados de precipitação semanal e temperaturas médias semanais dos mesmos, segundo os dados do Instituto Agrônomo de Campinas.

Os municípios escolhidos como objeto de estudo para o presente trabalho foram: Araraquara, Araçatuba, Campinas, Santos e São José do Rio Preto, todos em São Paulo. A escolha foi feita de acordo com as características climáticas de cada município, independente de ser ou não área epidêmica.

Os dados de dengue serão incluídos por semana epidemiológica, que é a metodologia utilizada pelos sistemas de informação oficiais de combate à dengue. Define-se por semana epidemiológica o período de sete dias que se inicia no domingo e termina no sábado seguinte, sendo numerada de um a 52 ou 53. A primeira semana epidemiológica é aquela em que se observa os maiores números de casos notificados da doença (SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE DE BELO HORIZONTE, 2008).

Como ferramenta de análise estatística prévia utilizaremos o software Table Curve 2D, com o objetivo de encontrar as equações que melhor expliquem a possível relação entre os casos de dengue e as variáveis meteorológicas temperatura média semanal e precipitação semanal.

Serão feitas cerca de 300 simulações com o software MatLab para buscar as relações entre os casos de dengue e as variáveis meteorológicas dos municípios em estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A dengue

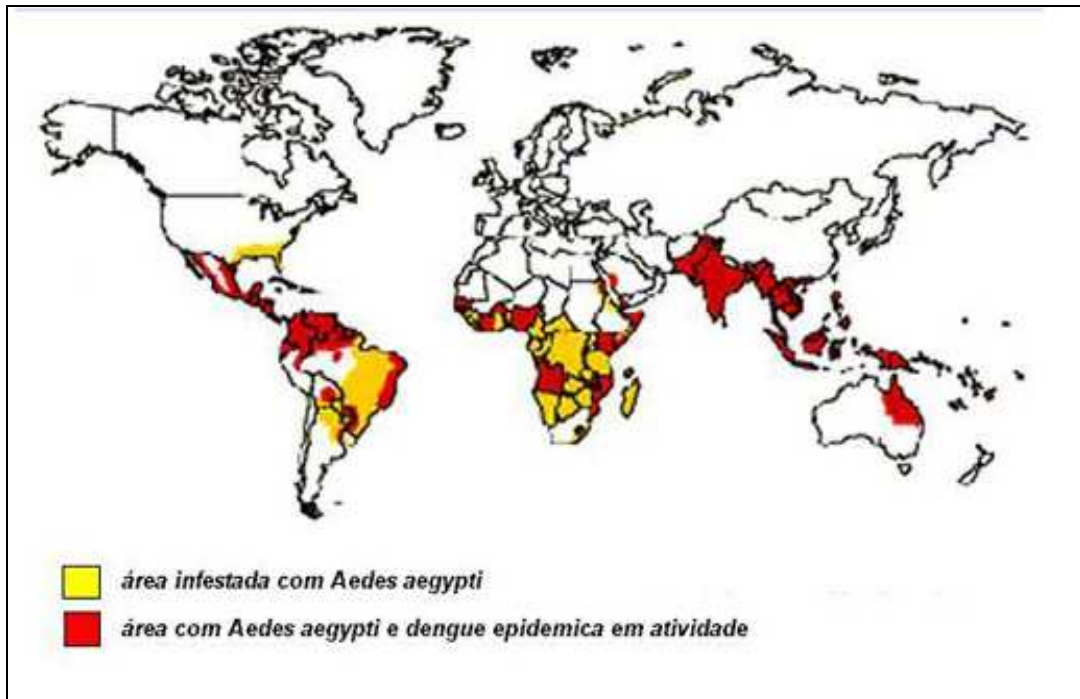
Os mosquitos são encontrados em todo o mundo, exceto em locais permanentemente congelados. Existem cerca de 3.500 espécies, das quais quase três quartos são nativos das áreas tropicais úmidas e subtropicais (REITER, 2001).

Segundo Reiter (2001), em quase todas as espécies de mosquito, a fêmea obtém as proteínas que necessita para o desenvolvimento de seus ovos quando se alimenta de sangue de vertebrados. Algumas espécies são altamente seletivas, restringindo-se a um ou a um pequeno número de hospedeiros.

Assim teoricamente, o aumento das médias térmicas mundiais provocadas pela intensificação do efeito estufa facilitaria a propagação destes insetos entre os vetores de doenças como a dengue, que é o caso do mosquito *Aedes aegypti*. Isto torna as invasões biológicas de vetores um importante objeto de estudos para pesquisas em vários ramos da ciência, tais como biomatemática, biologia, geografia e meteorologia (TAKAHASHI, 2004)

A Figura 2 apresenta a distribuição da dengue em 2005, no cenário mundial. Nela é possível identificar as áreas infestadas pelo vetor e as áreas que são infestadas e que a doença está presente. Fica evidente, pela figura, que o vetor e, dessa forma, a doença possuem uma maior incidência na região

intertropical por ser essa a que oferece as melhores condições para o desenvolvimento das populações de mosquito.



Fonte: Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/2005/06/img/dengue_mundo_II.jpg>. Acesso em 8 maio 2008.

Figura 2 – Distribuição da dengue no mundo em 2005.

A dengue é causada por um *Flavivirus*, e se caracteriza por ser febril aguda, cujo agente etiológico é constituído por quatro sorotipos: DEN-1, 2, 3 e 4, e a transmissão ocorre pela picada de mosquitos *Aedes aegypti* infectados, os quais possuem hábito domiciliar. A doença tem um período de incubação que varia de 8 a 15 dias, sendo 5 a 6 dias o período médio de incubação (FORATTINI, 1986).

A dengue tem acometido indivíduos de ambos os sexos, porém existem estudos que mostram maior incidência em mulheres do que em homens. O certo é que pessoas de todas as idades são suscetíveis a adquirir essa infecção (TAKAHASHI, 2004). Dentre as doenças cujos vetores são

insetos, a dengue insere-se como grande responsável pela mortalidade e morbidade humana, nas regiões tropicais e subtropicais (FORATTINI, 1986).

Os números de casos de dengue variam de ano para ano, às vezes atingindo proporções epidêmicas. As taxas de transmissão da dengue estão relacionadas com fatores do meio ambiente, fatores populacionais, comportamento humano e com as inter-relações entre eles. Além desses fatores mais gerais, outros mais específicos também podem contribuir para o alastramento da doença, tais como: tipo de vírus e taxa de imunidade a ele, o Período de Incubação Intrínseca (PEI), tamanho da população e densidade populacional de mosquito, densidade de seres humanos infectados com o vírus, e quantidade de seres humanos sensíveis à infecção. Acrescente-se a estas condições às mudanças nas características climáticas da região. Dentre todos esses fatores, o impacto do clima na evolução da dengue é, provavelmente, o menos conhecido (SCHREIBER, 2001).

Segundo Schreiber (2001), um bom entendimento das relações entre o clima e a dengue é importante tanto para facilitar a análise dos potenciais impactos que as mudanças climáticas podem causar sobre a evolução da dengue, como também por poder contribuir para a elaboração de políticas públicas de prevenção da doença, nas áreas epidêmicas e potencialmente epidêmicas.

Os países tropicais, devido às suas características climáticas e sociais, têm se apresentado mais suscetíveis ao avanço da doença. A expansão das áreas de ocorrência de dengue no mundo e no Brasil está associada tanto à urbanização, sem a devida estrutura de saneamento, quanto à “globalização” da economia (GLASSER; GOMES, 2002). Tais fatores contribuem não só para a dispersão ativa do mosquito como também para a disseminação dos vários sorotipos da doença.

Sem previsão de uma vacina eficaz e de baixo custo, qualquer política pública viável para controlar as epidemias de dengue nos países de clima tropical e subtropical deve, necessariamente, incluir estratégias apropriadas para minorar a população de mosquitos de *Aedes aegypti* (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA, 2008).

2.2. O *Aedes aegypti*

Todos os anos, principalmente durante o período de verão, há uma grande incidência de pessoas acometidas de dengue, doença virótica que para ser transmitida é necessário que um mosquito fêmea pique uma pessoa infectada e, após o vírus ter se multiplicado em suas glândulas salivares, pique uma pessoa suscetível. Há algumas espécies de mosquitos, *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, *Aedes polynesiensis*, entre outros, que podem transmitir a dengue (TAKAHASHI, 2004).

Segundo Consoli e Oliveira (1994), o *Aedes aegypti*, embora oriundo do Velho Mundo, acompanhou o homem em sua longa e ininterrupta migração pelo mundo, e permaneceu onde as alterações antrópicas propiciaram a sua proliferação. O mosquito se prolifera com facilidade em ambientes com grande disponibilidade de criadouros e sem predadores (anfíbios, pássaros e pequenos répteis) (GLUBBER, 1998). Por ter sido disseminada principalmente de forma passiva pelo homem, esta espécie tem, muitas vezes, a sua distribuição geográfica descontínua: está presente nos locais para onde o homem o levou em embarcações, trens, automóveis, aviões etc., e onde encontrou condições favoráveis para sua multiplicação (CONSOLI; OLIVEIRA, 1994).

Embora o *Aedes aegypti* possa ser encontrado longe de aglomerados humanos, no Brasil está restrito a vilas e cidades, sempre ligado ao domicílio humano e redondezas. Nas cidades brasileiras é encontrado nos locais de maior concentração humana e raramente em ambientes semi-silvestres ou onde a densidade populacional é menor.

Ainda de acordo com Consoli e Oliveira (1994), no Brasil, o *Aedes aegypti* foi introduzido durante o período colonial, provavelmente na época do tráfico negreiro. Devido à sua importância como vetor da febre amarela, foi intensamente combatido em nosso território, tendo sido considerado erradicado em 1955. Contudo, países vizinhos como as Guianas e a Venezuela, dentre outros sul-americanos, como também os Estados Unidos da América, Cuba e vários países centro-americanos, não o erradicaram. Este fato provocou uma reinvasão do país pelo mosquito, em Belém do Pará, em 1967, no Estado do Rio de Janeiro, provavelmente, em 1977 e em Roraima no início da década de

1980. Hoje ocorre nos estados litorâneos do Maranhão ao Paraná e na região Centro-Oeste, além de Minas Gerais e Tocantins.

O *Aedes aegypti* é pequeno, escuro, menor que um pernilongo, de pintas brancas, possui uma boca alongada como uma agulha e é altamente domesticado, pois prefere botar seus ovos em recipientes artificiais se proliferando com facilidade no ambiente doméstico pela ausência de predadores e grande disponibilidade de criadouros (FUNASA, 2008; TAKAHASHI, 2004).

O ciclo de vida do mosquito dura aproximadamente dez dias e machos e fêmeas alimentam-se de néctar e sucos vegetais. A fêmea do mosquito é a única que pica e faz isso preferencialmente durante o dia, ao contrário do mosquito comum – *Culex* (GLUBBER, 1998; SUWWAN, 2001). Durante 2 a 3 horas após a alvorada e de 3 a 4 horas antes do anoitecer, a atividade dos mosquitos em picar é intensa. À noite, embora raramente, a fêmea pode ser oportunista, atacando o homem caso este se aproxime de seu abrigo (CONSOLI; OLIVEIRA, 1994).

O *Aedes aegypti* é dotado de certo ecletismo em relação à fonte sanguínea para alimentação. Ataca animais das mais diversas espécies, desde que estejam próximos a seus criadouros e abrigos. Como, no Brasil, tais locais acham-se quase sempre nas redondezas das residências é o homem o hospedeiro mais procurado pela fêmea dessa espécie. O homem é atacado, principalmente, nos pés e na parte inferior das pernas (CONSOLI; OLIVEIRA, 1994).

O mosquito tem um ciclo de vida composto de quatro fases distintas: ovo, larva, pupa e adulto. As três primeiras fases (ovo, larva e pupa), desenvolvem-se na água, enquanto a última fase, a adulta (alada), fora d'água. (CONSOLI; OLIVEIRA, 1994). A fêmea põe os ovos dentro de qualquer recipiente com água limpa e parada colando-os nas paredes destes recipientes, bem próximos da água. Dos ovos surgem as larvas e estas, por sua vez, se transformam em pupas que vão originar novos mosquitos adultos. Este período de evolução varia de acordo com a temperatura e a disponibilidade de alimento do meio. Dessa forma, o mosquito é facilmente encontrado junto à população urbana onde existe grande fartura de criadouros

(garrafas, plantas, caixas d'água, vasos, pneus, dentre outros) e alimento (sangue humano, em mais de 90% das vezes (TAKAHASHI, 2004).

Ao ser perturbada, sem estar totalmente saciada, a fêmea do *Aedes aegypti* tenta, logo em seguida, completar seu repasto. Dessa forma ela pode picar várias pessoas que estejam num mesmo ambiente antes de tornar-se satisfeita. Assim, se for infectante, o vetor pode transmitir o vírus causador da dengue a várias pessoas em um curto período de tempo, durante uma única refeição. É comum, em um intervalo de 24 a 36 horas, alguns moradores de uma casa tornarem-se infectados, o que reforça a idéia de que todos foram contaminados por apenas um mosquito. Este comportamento torna-o um eficiente vetor (BARATA et al., 2001; TAKAHASHI, 2004). Os ovos do *Aedes aegypti* são capazes de sobreviver até um ano, sem estarem em contato com a água. Bastam 30 minutos de contato para que dêem origem às larvas. E, conseqüentemente, surgirão novos mosquitos adultos em uma semana. Este eficiente mecanismo de sobrevivência, com certeza, é um dos principais fatores para o sucesso da propagação do mosquito pelo mundo, a mais de 200 anos presente nas áreas tropicais. Estudos mostram que a dengue sofre certa influência de algumas variáveis meteorológicas, como a temperatura e a umidade. Essas variáveis podem aumentar o período ótimo para propagação do vetor (o inseto), aumentando a chance de propagação da doença (SCHREIBER, 2001).

2.2.1. A dengue no Brasil

Embora a dengue não seja, comumente, uma doença fatal ela constitui um sério problema de saúde pública no Brasil, devido às condições sócio-ambientais e, ainda, ao clima favorável para a expansão da população do vetor (FUNASA, 2008; TAKAHASHI, 2004).

Segundo Takahashi (2004), epidemias de dengue foram registradas no Brasil, pela primeira vez, no período de 1846 a 1848, com repetições de 1851 a 1853 e em 1916 a 1923. Uma nova epidemia foi registrada entre 1981 e 1982, em Boa Vista, no Estado de Roraima.

A Figura 3 mostra a taxa de incidência de dengue, por 100 mil habitantes, no Brasil e por regiões, no período que compreende os anos de

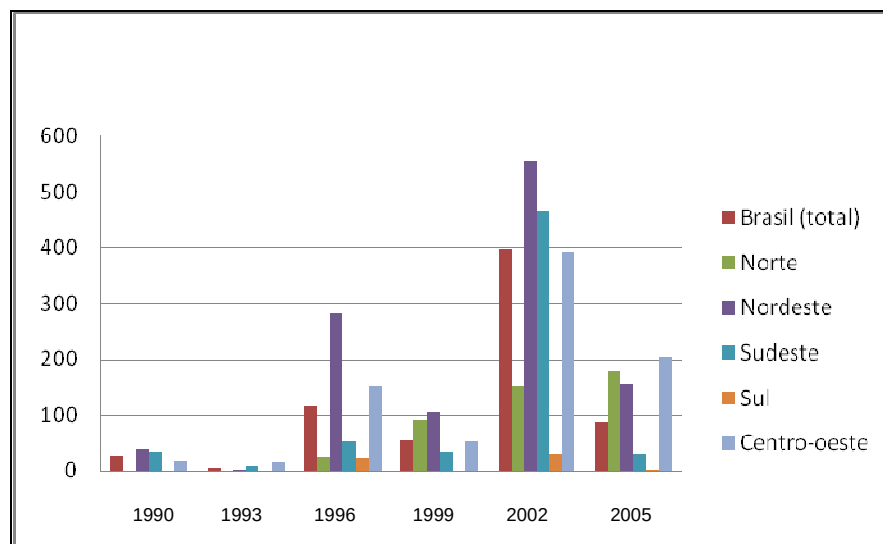
1990 a 2005, segundo o Ministério da Saúde/SVS. Em 1994, inicia-se novo surto de dengue, que acompanha a rápida dispersão do vetor em estados e municípios do interior do país. Neste período, observa-se aumento significativo da incidência também nas regiões Norte e Centro-Oeste, e o surgimento de casos na região Sul, principalmente no estado do Paraná. Em 1998, foram detectados 559.237 casos de infecção no Sistema de Saúde Pública em 24 estados, 90% dos quais localizados nas regiões Nordeste e Sudeste, sendo que em nove estados foram detectados casos de dengue hemorrágica 1 e 2. No Estado de São Paulo, 31.303 casos foram detectados em 102 municípios.

No ano de 2002, ocorreu a maior epidemia já identificada no país, com cerca de 792 mil casos notificados, refletindo, em grande parte, a introdução do sorotipo 3 do vírus da dengue no Brasil.

Vale aqui informar que, segundo a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, através de sua Secretaria de Saúde, entende-se por caso confirmado aquele em que o paciente apresente estado febril com duração de sete dias, acompanhada de, pelo menos, dois dos seguintes sintomas: cefaléia, dor retroorbital, mialgia, artralgia, prostração ou exanterma. Além desses sintomas, o paciente deve ter estado, nos últimos 15 dias, em área onde esteja ocorrendo transmissão de dengue ou que tenha presença do vetor *Aedes aegypti*.

A Figura 3 mostra a evolução da taxa de incidência de dengue por região brasileira, no período compreendido entre 1990 e 2005. Observa-se que a incidência no país vem aumentando ao longo dos anos, atingindo seus maiores índices no ano de 2002. Após atingir seu auge no ano de 2002, a incidência caiu em 2005, provavelmente fruto de ações governamentais com o objetivo de controlar a epidemia.

A transmissão no estado de São Paulo teve início em 1987 e, desde então, vem apresentando tendências de crescimento/ascensão: em 2001 foram confirmados 51.472 casos configurando-se como a maior incidência de dengue já observada para o estado (CENTRO DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – CVE-SP, 2008).



Fonte: Brasil. Ministério da Saúde.

Figura 3 – Taxa de incidência de dengue por região brasileira, 1990-2005.

2.3. A dengue e o clima

De acordo com Reiter (2001), a ecologia, o desenvolvimento, o comportamento e a sobrevivência dos mosquitos e da dinâmica de transmissão de doenças tropicais são fortemente influenciados pelos fatores climáticos. Temperatura, precipitação, umidade são de essencial importância para isso, mas outros fatores, como o vento e duração do dia também podem atuar de forma significativa. É importante salientar que a duração do dia pode ser alterada pela ação antrópica, já que a utilização de luz artificial também possibilita que o vetor entre em atividade para o repasto.

Os mesmos fatores também desempenham um papel crucial na sobrevivência e na taxa de transmissão do vetor. Em particular, a temperatura afeta a taxa de multiplicação desses insetos. A sazonalidade é um componente-chave do clima. O verão em várias regiões temperadas tem temperaturas tão elevadas quanto as das regiões tropicais, mas a grande diferença, que contribui para o aumento da atividade desses vetores nas regiões tropicais é o fato dessas últimas não terem invernos frios (REITER, 2001).

As taxas de transmissão de dengue estão relacionadas com vários fatores ambientais, populacionais e comportamentais dos seres humanos, com estreita relação entre eles. A esses fatores, somam-se o tipo de vírus presente na região, a imunidade a tal vírus, o PEI, a prevalência de água, densidade populacional dos vetores e tamanho dos mosquitos, seres humanos infectados e sensíveis ao vírus (SCHREIBER, 2001).

O aumento rápido da temperatura pode diminuir o PEI e diminuir o tempo entre uma refeição e outra do mosquito aumentando, dessa forma, a capacidade de transmissão da dengue. Períodos mais curtos de PEI resultarão numa maior proporção de mosquitos infectados, aumentando a eficiência da transmissão (SCHREIBER, 2001).

Segundo Rueda et al. (1990), temperaturas mais elevadas podem resultar em mosquitos adultos com menor tamanho corporal. Em contrapartida, nessas situações, fêmeas adultas, buscam um maior número de refeições, aumentando a taxa de repasto (MacDONALD, 1958).

As taxas máximas de sobrevivência do mosquito foram identificadas na faixa de temperatura entre 20 e 30°C (RUEDA et al., 1990). Segundo modelos, temperaturas superiores a 40°C reduzem a expectativa de vida do *Aedes aegypti*, compensando o aumento da taxa de repasto e propagação do vírus, reduzindo uma potencial epidemia (PATZ et al., 1998). No entanto, temperaturas acima de 30°C podem ter um impacto pequeno sobre o *Aedes aegypti*, uma vez que o mosquito pode reduzir a sua atividade diurna, se refugiando em locais onde as temperaturas sejam mais amenas, dentro das residências (SCHREIBER, 2001).

Segundo Schreiber (2001), precipitação e temperatura podem interagir para produzir padrões sazonais na incidência de dengue. A maioria das áreas endêmicas do mundo mostra um acentuado aumento na incidência da doença após períodos mais úmidos e mais quentes. Segundo Schultz (1993), a incidência de dengue em Manila, na República das Filipinas, aumentou cerca de dois meses após o início do período mais quente e úmido, que naquela região tem início em junho e vai até setembro, período durante o qual a população de *Aedes aegypti* aumentou.

Especulações sobre o impacto do aquecimento global sobre a saúde humana freqüentemente incide sobre doenças transmitidas por mosquitos.

Modelos simples sugerem que o aumento global da temperatura pode aumentar as taxas de transmissão dessas doenças e alargar os seus limites geográficos. No entanto, históricos de três doenças transmitidas por mosquitos (malária, febre amarela e dengue) revelam que o clima raramente tem sido o principal determinante no aumento dos casos (REITER, 2001).

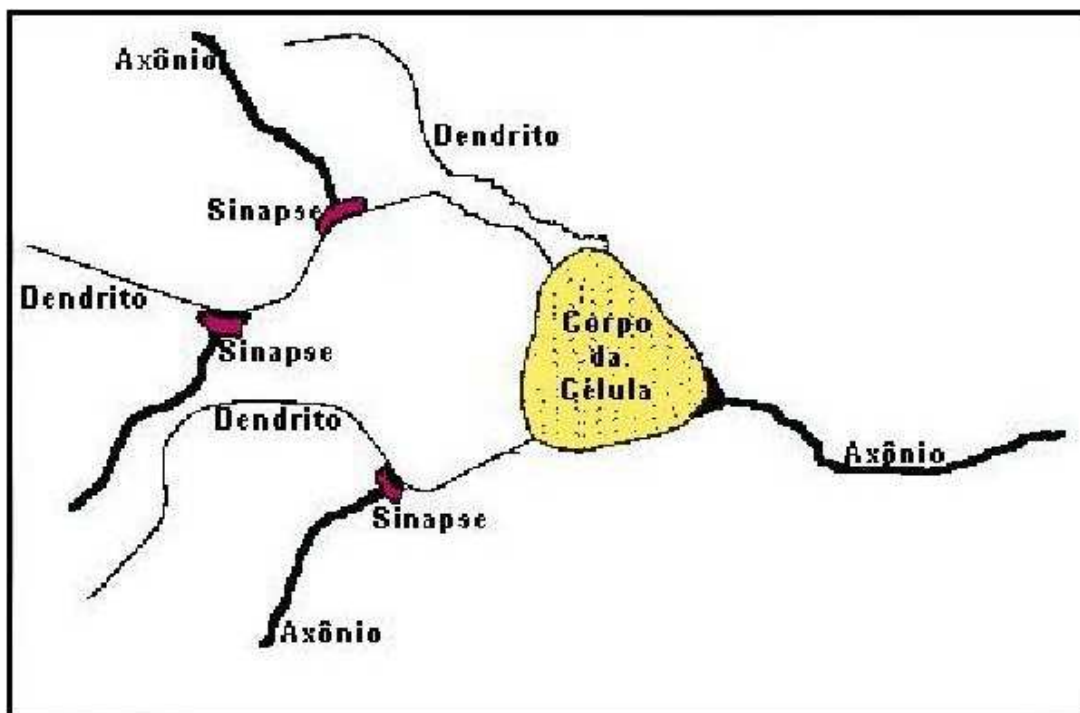
Segundo Amarakoon et al. (2007), anos com períodos mais quentes, como em caso de ocorrência de eventos El Niños, as epidemias ocorriam mais cedo, no Caribe. Conforme os autores, análises de índices baseados em temperatura média parecem ser eficazes na elaboração de estratégias para mitigação de epidemias de dengue.

Fuller et al. (2008) utilizaram dados sobre El Niño e índices de vegetação para encontrar padrões de ocorrência da doença. O modelo elaborado pelos autores reproduziu as epidemias na Costa Rica com uma acurácia de 64%.

2.4. Redes neurais

A técnica de redes neurais baseia-se na estrutura do cérebro humano, tendo como componente principal o neurônio. Segundo Braga et al. (2000), o neurônio é uma unidade básica do cérebro e, isoladamente, pode ser considerado análogo a uma unidade de processamento: aceita e combina estímulos de vários outros neurônios (muitas entradas), porém possui somente uma saída, como ilustra a Figura 4.

O processo de aprendizado ocorre quando acontecem sucessivas e efetivas modificações nas sinapses que interconectam os neurônios, em função da maior ou menor liberação de neurotransmissores. À medida que novos eventos são apresentados, determinadas ligações entre os neurônios são reforçadas enquanto outras enfraquecidas. Esse ajustamento que se processa nas ligações entre os neurônios durante o processo de aprendizado é uma das mais importantes características das redes neurais artificiais (Braga, 2000).



Fonte: Braga (2000).

Figura 4 – Representação simplificada de um neurônio.

Estima-se que existam cerca de 10^{11} a 10^{14} neurônios operando no cérebro humano. Cada um desses conectados através de 10^3 a 10^4 sinapses, em média, contudo a velocidade de processamento destes componentes é relativamente baixa, quando comparada aos computadores tradicionais. Essa deficiência na velocidade de processamento dos neurônios é superada pela imensa quantidade de neurônios existentes operando de forma paralela (BRAGA et al., 2000).

De acordo com Braga et al. (2000), tais características permitem ao cérebro executar rapidamente certas funções (por exemplo, reconhecer fisionomias e sons) que os computadores convencionais não conseguem realizar com a mesma eficiência. Na Tabela 1, é apresentada uma comparação das principais diferenças existentes entre os computadores tradicionais e o cérebro humano. Essa comparação fornece uma idéia mais clara sobre a capacidade adaptativa do cérebro humano, em contraste com a rigidez e precisão dos computadores convencionais.

Tabela 1 – Diferenças entre o computador e o cérebro humano

Elementos computacionais	Computador/Processador	Cérebro humano/ neurônio simples
Velocidade de processamento	10 ⁻⁹ segundos	10 ⁻³ segundos
Tipo de processamento	Serial	Paralelo
Confiabilidade dos elementos	Confiável	Não confiável
Tolerância de falhas	Quase nenhuma	Grande
Tipo de sinal	Preciso, simbólico	Impreciso
Tipo de controle	Centralizado	Distribuído
Armazenamento da informação	Substituível	Adaptável

Fonte: Braga (2000).

2.4.1. Redes neurais artificiais (RNA)

A inteligência computacional (IC) pode ser definida como um conjunto de modelos, algoritmos, técnicas, ferramentas e aplicações, em um sistema que emula algumas das habilidades cognitivas do homem (BRAGA et al., 2000). A IC abrange o conhecimento de diversas ciências, tais como: ciência da computação, linguística, matemática, neurofisiologia, psicologia que, conjuntamente, objetivam o desenvolvimento de computadores e programas capazes de imitar e, ou, entender aspectos do pensamento humano. Segundo Braga et al. (2000), as técnicas de alocação dinâmica de memória e o paradigma da programação orientada a objetos tiveram suas origens no campo da IC. Para Barreto (1997), os sistemas baseados em regras do conhecimento, sistemas especialistas e as redes neurais foram concebidos e têm sido largamente utilizados na solução de problemas complexos, onde os algoritmos e técnicas tradicionais são inadequados.

Conforme Barreto (1997), as redes neurais artificiais podem ser mais adequadamente caracterizadas como “modelos computacionais” com propriedades especiais, como a capacidade de se adaptar ou aprender, para generalizar, fragmentar ou organizar dados, que se baseiam na operação de processamento em paralelo. No entanto, muitas das propriedades citadas anteriormente podem ser atribuídas a modelos (não-neurais) já existentes.

De acordo com Silva (2002), as redes neurais podem ser definidas, ainda, como modelos computacionais inspirados na estrutura e funcionamento do cérebro humano e caracterizam-se pela reunião de uma grande quantidade de células (elementos ou unidades) de processamento, interligadas por um grande número de conexões (links) que processam a informação de modo paralelo. Esse tipo de processamento da informação é também chamado de Processamento Paralelo Distribuído (PPD) ou sistemas conexionistas. Contudo, conforme citam diversos autores, a denominação mais adequada seria Redes Neurais Artificiais (RNA), pois o conhecimento do funcionamento do cérebro, bem como dos neurônios ainda é bastante incompleto, tornando tais modelos computacionais nada mais que grosseiras imitações parciais das redes de neurônios do cérebro.

Os principais elementos utilizados na descrição de RNAs são a representação distribuída, as operações locais e o processamento não-linear. Esses atributos especificam duas aplicações básicas nas RNAs: situações em que poucas decisões têm que ser tomadas a partir de uma grande quantidade de dados, e situações onde um complexo mapeamento não-linear deve ser aprendido (RUMELHART et al., 1986).

Segundo Rumelhart et al. (1986), um modelo conexionista pode ser descrito por oito elementos principais:

- *Um conjunto de unidades de processamento*: a unidade de processamento é o componente básico das RNAs e corresponde ao neurônio humano.
- *Um estado de ativação*: o estado de ativação de todos os neurônios da rede, ou seja, o estado de ativação do sistema especifica o que está sendo representado na rede em um determinado instante t qualquer. Os valores das ativações existentes na rede podem ser discretos, por exemplo, assumindo os valores $\{0,1\}$ ou $\{-1,0,1\}$, como também ser contínuos, assumindo valores no intervalo $[0,1]$ ou $[-1,1]$, que são calculados pela regra de ativação.
- *Uma função de saída*: os neurônios interagem entre si através de um valor que é transmitido pelas conexões. Esse valor é determinado pela ativação do neurônio estimulador. A função de saída é o mapeamento do estado de ativação num sinal de saída, e pode ser a função identidade, isto é, o sinal de saída é igual ao estado de ativação. Em muitos casos, a função de saída

é uma função porteira (patamar, limiar) que só emite sinal quando o seu estado ultrapassa certo limite.

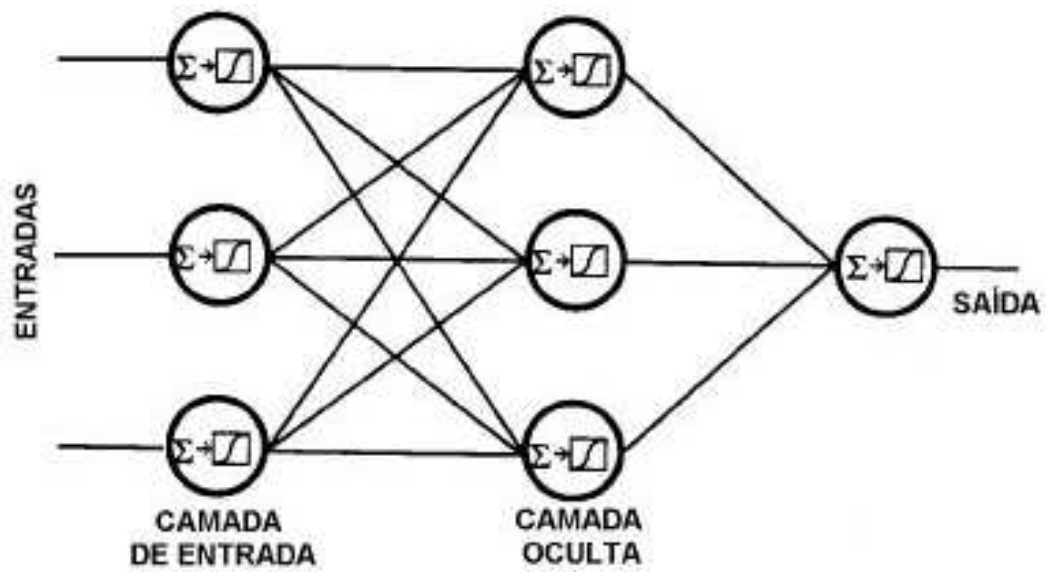
- *Um padrão de interconexão:* pode-se representar o padrão de interconexão da rede por uma matriz de pesos w , onde um elemento corresponde à influência do neurônio u_i sobre o neurônio u_j . Conexões com pesos positivos, chamadas de excitatórias, indicam o reforço na ativação do neurônio u_j . Conexões com pesos negativos, chamadas de inibitórias, indicam na ativação do neurônio u_j . O conjunto das ligações excitatórias e inibitórias existentes na rede determinam o comportamento da mesma.
- *Uma regra de propagação:* cada neurônio u_i calcula sua nova ativação através de uma regra de propagação. Em geral, ela é definida como sendo uma função somatório da entrada líquida (net) dos pesos dos neurônios u_j que estão diretamente conectados a u_i . Isto é feito através da multiplicação do estado do j -ésimo neurônio (u_j) ($u_i = u_j \cdot w_{ij}$) pelo peso da conexão w_{ij} , do i -ésimo para o j -ésimo neurônio, para cada um dos j neurônios que estão conectados à entrada do neurônio i . A regra de propagação se completa através do limite que deve ser ultrapassado pelo somatório explicado acima. Este limiar que pode ser nulo inclusive deve ser superado para que ocorra a ativação da célula.
- *Uma regra de ativação:* é necessária uma regra que calcule o valor de ativação de um neurônio no instante t . É preciso uma função que calcule a nova ativação $a(t)$ utilizando as entradas líquidas (net). Geralmente, esta função possui a forma $a_i(t+1) = f(a_i(t), \text{net } i(t, t+1))$, onde f é a função de ativação, também chamada de função limiar. Essa função mapeia os neurônios de entrada para um intervalo pré-especificado de saída. As quatro funções de ativação mais utilizadas são linear, rampa, degrau e sigmóide;
- *Uma regra de aprendizado:* a modificação do processamento ou da estrutura de conhecimento de uma rede neural envolve a alteração do seu padrão de interconexão. Em princípio, isto pode ser feito de três maneiras: desenvolvimento de novas conexões, perda de conexões existentes na rede e modificações dos pesos das conexões já existentes;
- *Um ambiente onde o sistema deve funcionar:* o último componente de RNAs é o ambiente onde a rede deve funcionar. É necessário especificar a natureza do ambiente, estabelecendo os possíveis padrões de entrada e

saída. Em alguns modelos, por exemplo, o Parallel Distributed Processing (PDP) de Rumelhart, o ambiente é representado como uma função estocástica que varia ao longo do tempo sobre um espaço de padrões de entrada. Geralmente, o ambiente é caracterizado como uma distribuição de probabilidade estável sobre um conjunto de padrões de entrada. Essa distribuição pode ser independente, ou não, de entradas ou de respostas passadas do ambiente.

O neurônio artificial, ou elemento de processamento, denota um simples dispositivo capaz de calcular o somatório de N entradas ponderadas, cujo resultado passa através de uma função não-linear (BRAGA, 2000). Basicamente, esse dispositivo é caracterizado por um “offset” ou limiar interno e por algum tipo de função não linear, como mostra a Figura 5. A saída Y do dispositivo é função do somatório das entradas $X_0, X_1, \dots, X_n$, ponderadas pelos pesos $W_0, W_1, \dots, W_n$ - o offset.

A RNA da Figura 5 pode ser descrita como uma rede de três camadas totalmente conectadas, perfazendo $(3,3) + (3,3) = 12$ conexões e contendo: uma camada de entrada com três elementos de processamento; uma camada oculta, também com três elementos de processamento; e uma camada de saída, com um elemento de processamento. Resumindo, as RNAs podem ser categorizadas por sua topologia, isto é, pelo número de camadas ou de elementos de processamento e de conexões, pelas características de seus elementos de processamento e pelas leis de aprendizagem a que foram submetidas (BRAGA et al., 2000).

A primeira vez que as redes neurais despertaram interesse foi após o trabalho de introdução simplificada de neurônios realizada por McCulloch e Pitts, em 1943 (BARRETO, 1997). Suas pesquisas teriam sido fundamentadas em cinco premissas básicas: 1) a atividade de um neurônio é um processo “tudo-ou-nada”; 2) certo número de sinapses (>1) precisa ser excitado dentro de um período latente adicionado para o neurônio ser excitado e disparar; 3) o único atraso significativo dentro do sistema nervoso é o atraso sináptico; 4) a atividade de qualquer sinapse inibitória impede a excitação do neurônio naquele momento; 5) a estrutura de interconexão da rede não muda com o tempo.



Fonte: Braga (2000).

Figura 5 – Estrutura de uma RNA do tipo "multilayer feedforward".

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Análise da relação entre as variáveis meteorológicas e os casos de dengue utilizando Table Curve

Antes da utilização das Redes Neurais para a investigação da relação entre casos de dengue e as variáveis meteorológicas propostas pelo estudo, se fez necessário primeiro, buscar a relação estatística entre os dados da doença e os dados meteorológicos nos municípios em avaliação. Para isso, foi utilizado o software estatístico Table Curve para gerar os gráficos e encontrar as melhores equações que explicassem essa relação. Por exemplo, a Figura 6 mostra um gráfico elaborado a partir do programa acima citado. O Table Curve buscou, a partir dos dados de casos de dengue de Campinas-SP, no ano de 2001, a relação desses com os dados de temperatura máxima de Campinas no mesmo ano.

O programa encontra a equação que melhor explica a relação entre os dados, fornece o coeficiente de determinação (r^2) e traça a curva a partir da equação escolhida. Dessa forma, a análise é facilitada, através do gráfico. Vale a pena ressaltar que se deve considerar apenas a porção central do gráfico, onde a maioria dos dados se concentra, já que dados anômalos, ou seja, fora dos padrões para o ano e para as características de temperatura, aparecem isolados, nas bordas do gráfico.

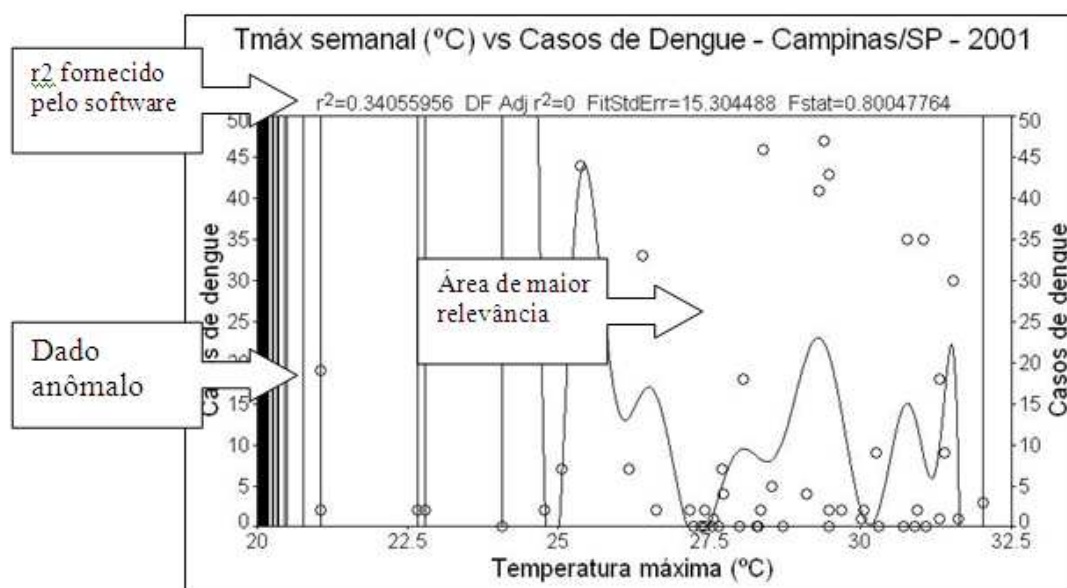


Figura 6 – Relação entre casos de dengue e temperatura máxima para o município de Campinas-SP, em 2001.

3.2. Arquitetura da rede neural artificial (RNA)

3.2.1. Arquitetura da RNA para simulação da dengue utilizando os próprios casos de dengue

Inicialmente utilizou-se a Rede Neural Artificial (RNA) para simular apenas os casos de dengue nos municípios estudados no trabalho, sendo as variáveis de entrada os três últimos dias de dengue, por semana epidemiológica, assim definidos Dengue (último dia), Dengue 1 (penúltimo dia) e Dengue 2 (antepenúltimo dia). Para tanto foram usados dos dados publicados pelo Centro de Vigilância Epidemiológica do Estado de São Paulo (CVE-SP), para os anos de 2001 a 2007. Para treinamento da rede foram utilizados os quatro primeiros anos de dados de dengue e de variáveis (temperatura média semanal e precipitação semanal). Para análise dos resultados foram feitas 300 simulações através do MatLab.

A Figura 7 representa a arquitetura da RNA utilizada para simular o comportamento da dengue nos municípios investigados a partir dos casos de dengue reais. Trata-se de uma rede tipo “*multilayer feedforward*” (BRAGA,

2000), descrita como uma rede de três camadas conectadas, perfazendo $(3:7)+(7:3) = 48$ conexões, contendo: uma camada de entrada com 3 elementos de processamento, duas camadas ocultas, uma com 7 e outra com 3 elementos de processamento, e uma camada de saída, com 1 elemento de processamento.

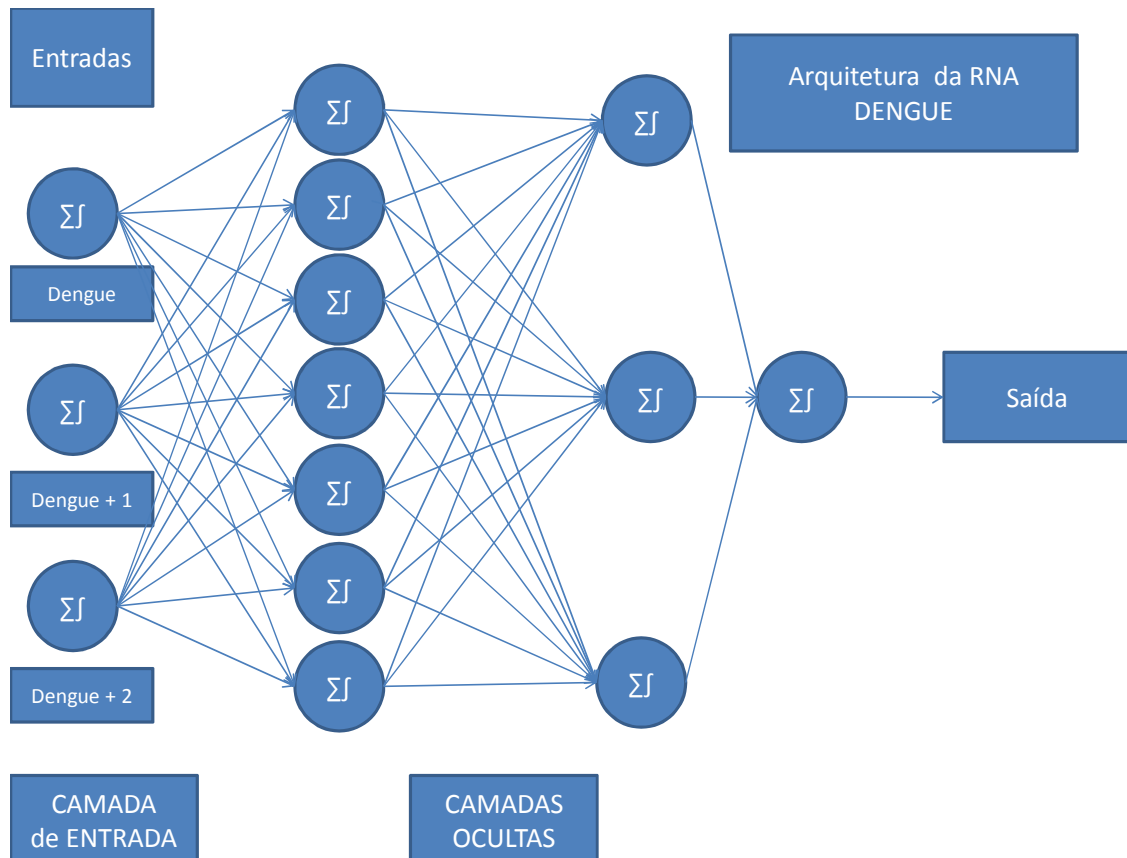


Figura 7 – Arquitetura da rede neural para simulação da dengue a partir de casos de dengue.

3.2.2. Arquitetura da RNA para simulação da dengue utilizando as variáveis meteorológicas

Para simular o comportamento da dengue a partir dos dados das variáveis meteorológicas, usou-se a arquitetura de rede apresentada na Figura 8.

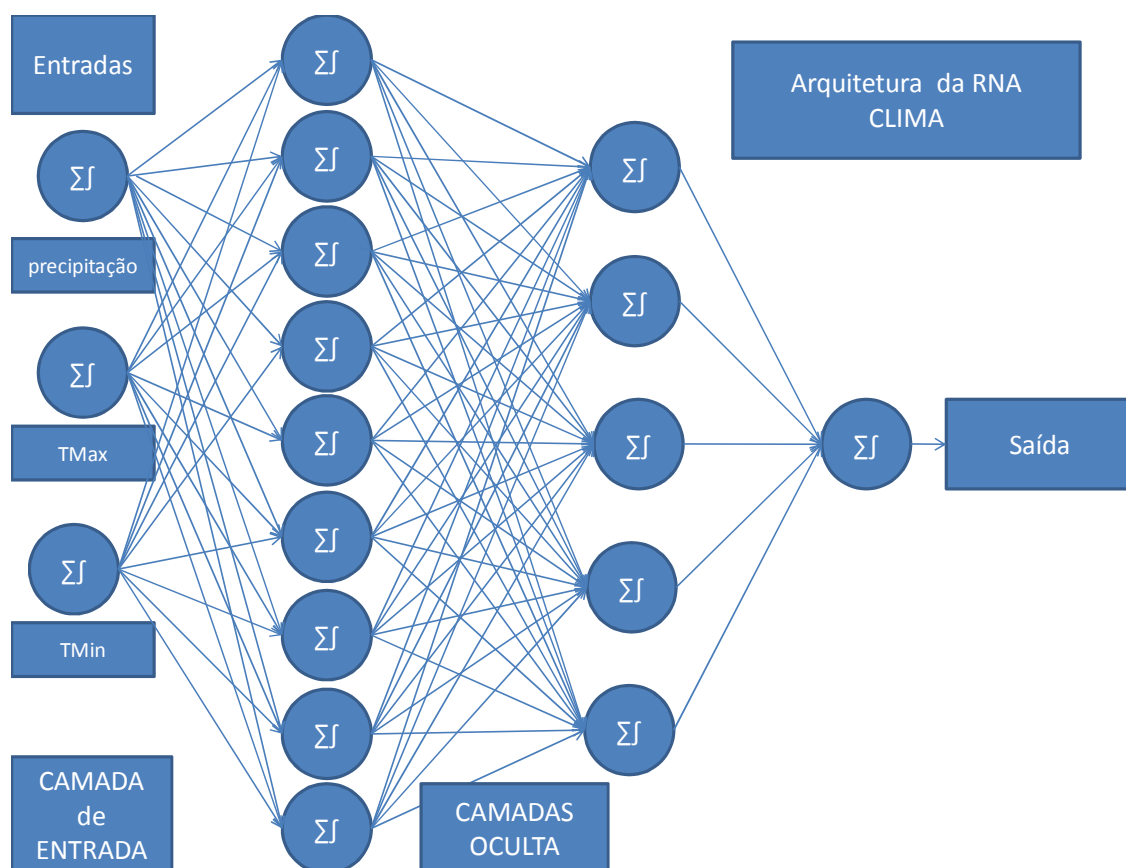


Figura 8 – Arquitetura da rede neural para simulação da dengue a partir de variáveis meteorológicas e amplitude térmica.

Neste caso também se trata de uma rede tipo “*multilayer feedforward*” (BRAGA, 2000), descrita como uma rede de três camadas conectadas, perfazendo $(3:9)+(9:5) = 72$ conexões, contendo: uma camada de entrada com 3 elementos, duas camadas ocultas, uma contendo 9 elementos de processamento e outra com 5 elementos de processamento e uma camada de saída, com 1 elemento de processamento.

3.2.3. Arquitetura da RNA para simulação da dengue utilizando as variáveis meteorológicas juntamente com os dados de dengue

Para simular a dengue a partir da relação entre os casos de dengue nos municípios pesquisados e suas variáveis meteorológicas utilizou-se a arquitetura de rede representada na Figura 9.

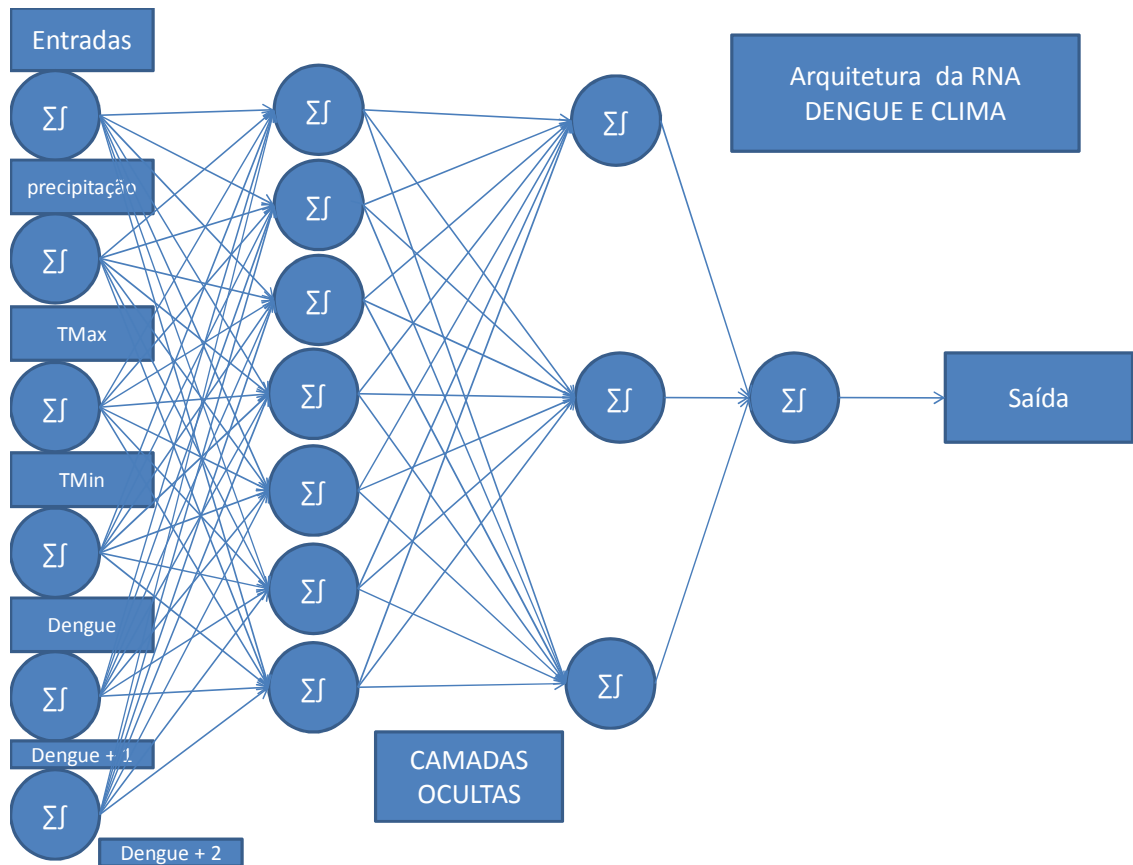
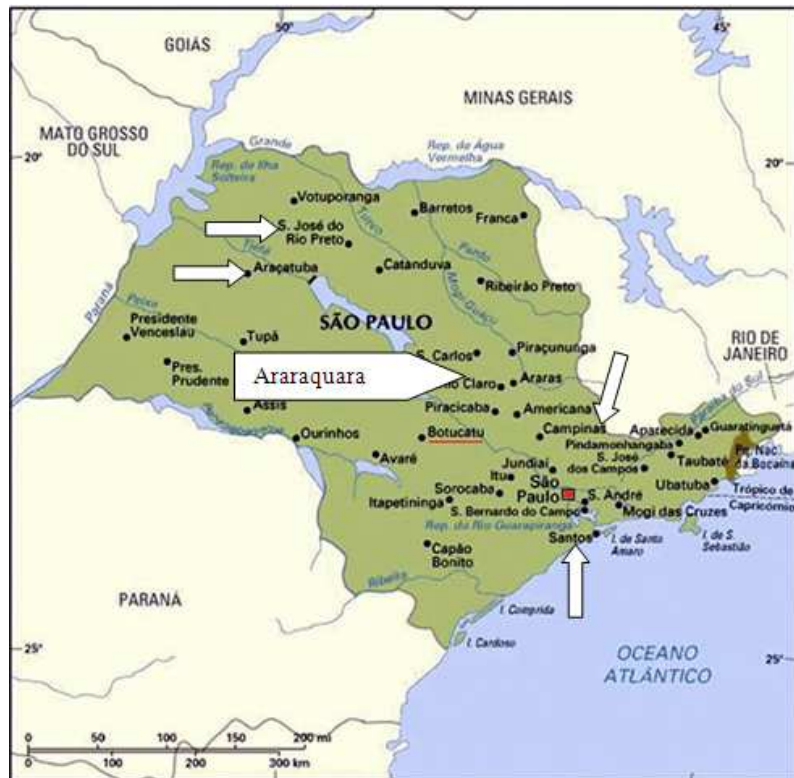


Figura 9 – Arquitetura da rede neural para simulação da dengue a partir de variáveis meteorológicas e casos de dengue reais.

Mais uma vez foi utilizada a rede tipo “*multilayer feedforward*” (BRAGA et al., 2000), descrita como uma rede de três camadas conectadas, perfazendo $(6:7)+(7:3) = 63$ conexões, contendo: uma camada de entrada com 6 elementos de processamento, duas camadas ocultas, uma contando com 7 elementos de processamento e outra com 3 elementos de processamento e uma camada de saída, com 1 elemento de processamento, no mesmo padrão da RNA utilizada para simular a dengue a partir dos casos de dengue.

3.3. Caracterização socioeconômica e climática das cidades estudadas

A escolha dos municípios de Araçatuba, São José do Rio Preto, Campinas, Santos e Araraquara baseou-se na diversidade climática do estado de São Paulo e no fato de a dengue ser endêmica no estado e na existência de uma série de dados. A localização desses municípios pode ser observada na Figura 10, e o clima de cada um é mostrado na Figura 11. Busca-se contemplar os climas presentes no chamado Oeste Paulista, representado pelos municípios de Araçatuba e São José do Rio Preto (tropical com invernos secos), o clima tropical de altitude (Campinas), o clima tropical litorâneo (Santos) e um clima de transição entre o tropical com inverno seco e o tropical úmido, representado aqui pelo município de Araraquara. Todos os municípios escolhidos apresentaram casos de dengue nos últimos oito anos, com maior ou menor intensidade, isto possibilita uma avaliação inicial da relação entre dengue e clima (dois dos municípios (São José do Rio Preto e Araçatuba) apresentam o mesmo clima e comportamento de dengue diferenciado).



Fonte: Unesp.

Figura 10 – Localização dos municípios estudados.



Fonte: CPA - Unicamp.

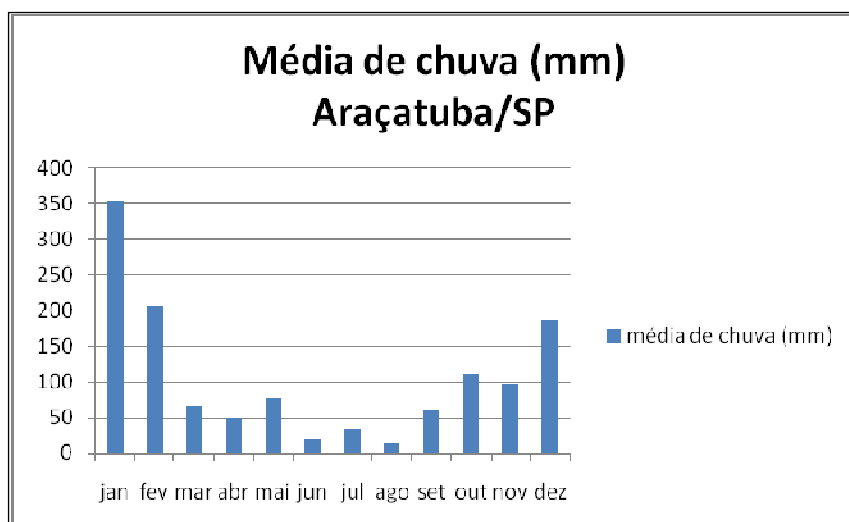
Figura 11 - Classificação climática de Koeppen do Estado de São Paulo.

3.3.1. Araçatuba

Araçatuba apresenta população em torno dos 169 mil habitantes, com densidade demográfica de 144,98 hab./km², a expectativa de vida em média na cidade é de 74 anos, e o IDH médio alcança o valor de 0,848, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2008).

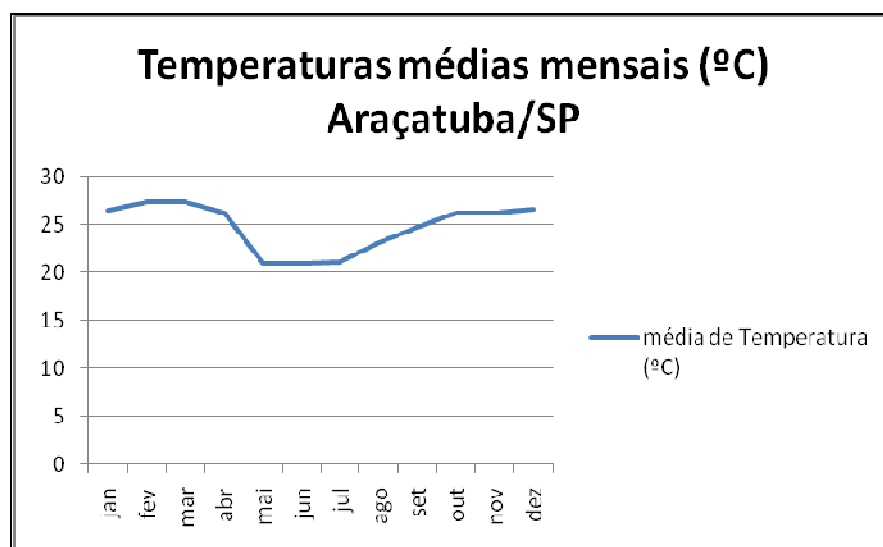
O município de Araçatuba está localizado na porção norte-ocidental do território paulista, região de domínio do clima denominado Aw (tropical de verões úmidos e invernos secos). Os climas Aw têm sua área de domínio abrangendo uma ampla zona, que vai desde o extremo noroeste e norte do estado de São Paulo a uma transição mais direta aos climas do Brasil Central (AB'SABER, 2004).

As Figuras 12 e 13 mostram o comportamento médio das variáveis precipitação e temperatura para o período de janeiro de 2001 a dezembro de 2007, segundo dados do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas de Campinas-SP (CIIAgro).



Fonte CIIAgro.

Figura 12 – Precipitação média mensal em Araçatuba, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007.



Fonte: CIIAgro.

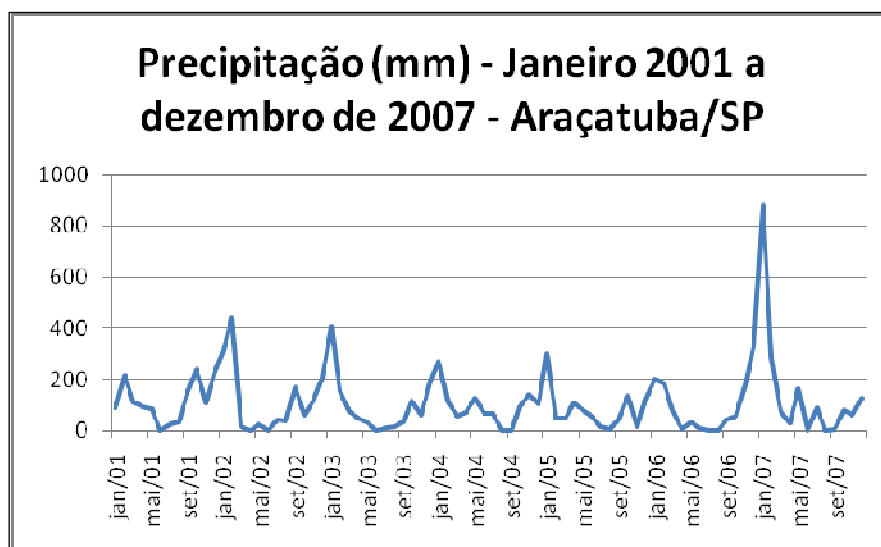
Figura 13 – Temperatura média mensal em Araçatuba, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007.

No período representado, as variáveis observadas mantiveram a tendência climática histórica: as chuvas se concentraram no verão, iniciando-se o período chuvoso no mês de outubro, chegando até fevereiro, com as maiores precipitações nos meses de janeiro e fevereiro. Durante o inverno, a incidência de chuva é reduzida, com a estiagem iniciando no período de março a abril. O período de estiagem abrange os meses de junho a agosto. As médias térmicas acompanham o comportamento da chuva, com as maiores temperaturas médias observadas nos meses de janeiro e fevereiro, e os meses mais frios de maio a julho.

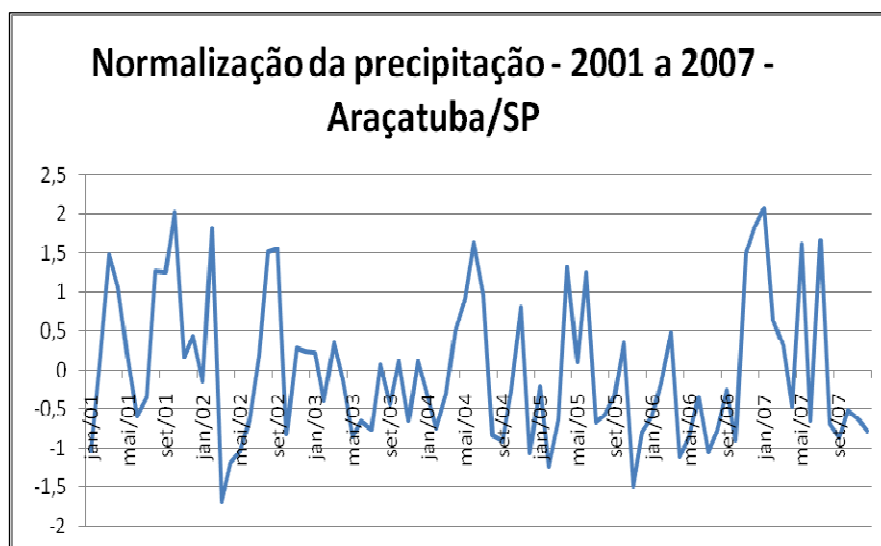
Analisar as variáveis de forma isolada pode ajudar a identificar tendências diferentes da histórica. A Figura 14a descreve o comportamento da chuva no decorrer do período estudado. Neste período observa-se que os máximos de precipitação ocorrem nos meses de janeiro e fevereiro. Todos esses picos apresentam certa homogeneidade, com exceção do ano de 2007, quando os totais pluviométricos alcançaram valores muito acima da média dos últimos anos. A observação da Figura 14b que mostra a precipitação normalizada para o município ilustra que não há tendências marcantes de aumento ou queda na magnitude de precipitação.

A Figura 15, que mostra o comportamento da temperatura média para Araçatuba durante o período estudado, indica que as maiores médias apresentadas no período de 2001 a 2007 ocorreram entre os meses de setembro a janeiro, com a queda das médias térmicas de maio a agosto.

As Figuras 16a e 16b, que mostram a normalização das temperaturas máximas e mínimas, permitem a observação de que, no curto período de 2001 a 2007, o comportamento dessas duas variáveis apresentam uma leve tendência de resfriamento. Embora isto seja mais claro no campo de temperatura máxima.



(a)



(b)

Fonte: CIIAGRO.

Figura 14 – Comportamento da precipitação mensal (a) e série temporal de precipitação normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Araçatuba.

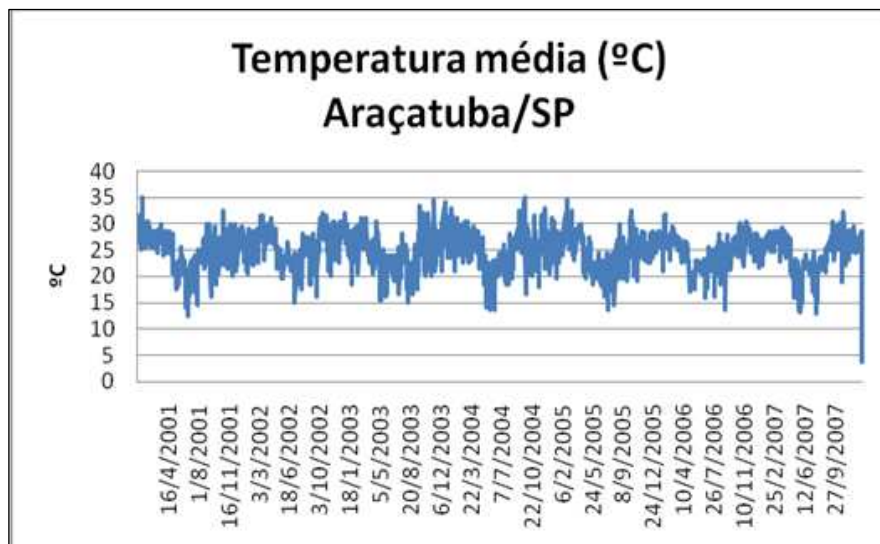
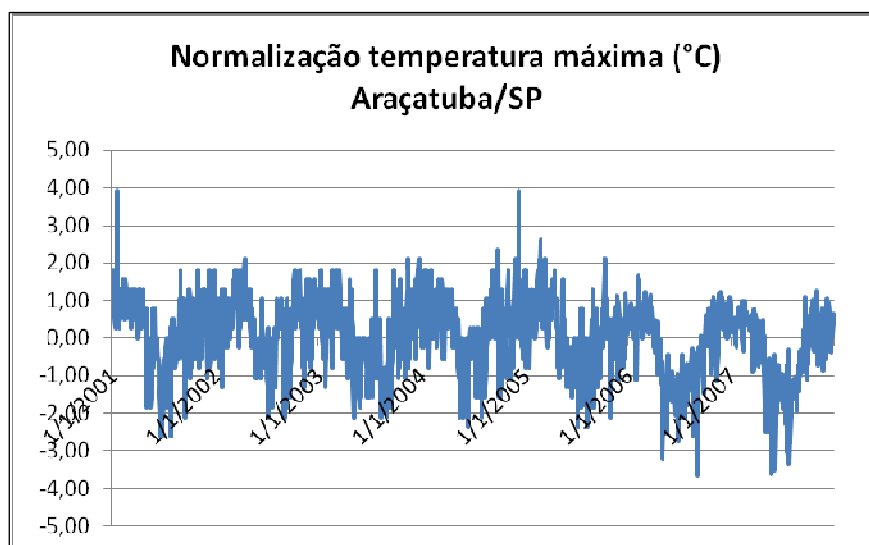
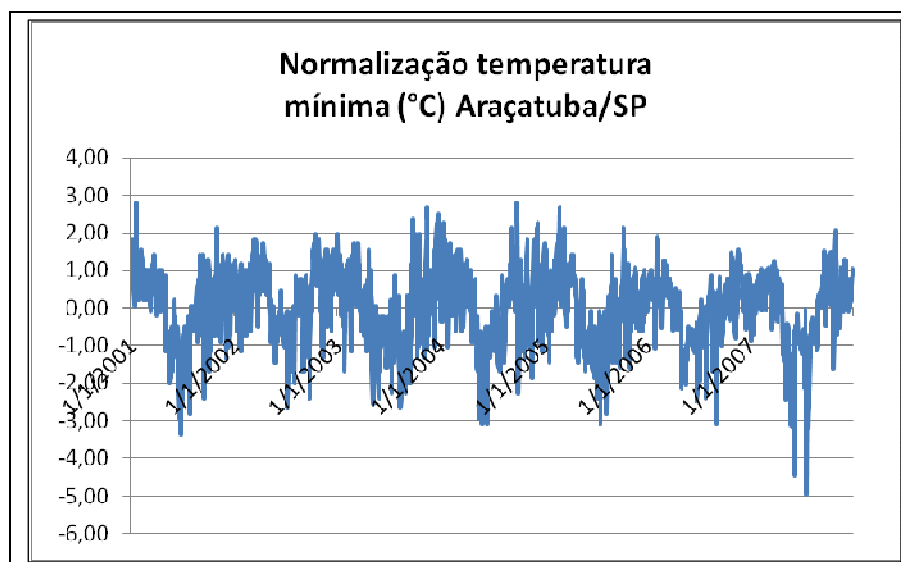


Figura 15 – Comportamento médio da temperatura, no período de janeiro 2001 a dezembro de 2007, para Araçatuba.



(a)



(b)

Figura 16 – Normalização das temperaturas máxima (a) e mínima (b), no período de 2001 a 2007, para Araçatuba.

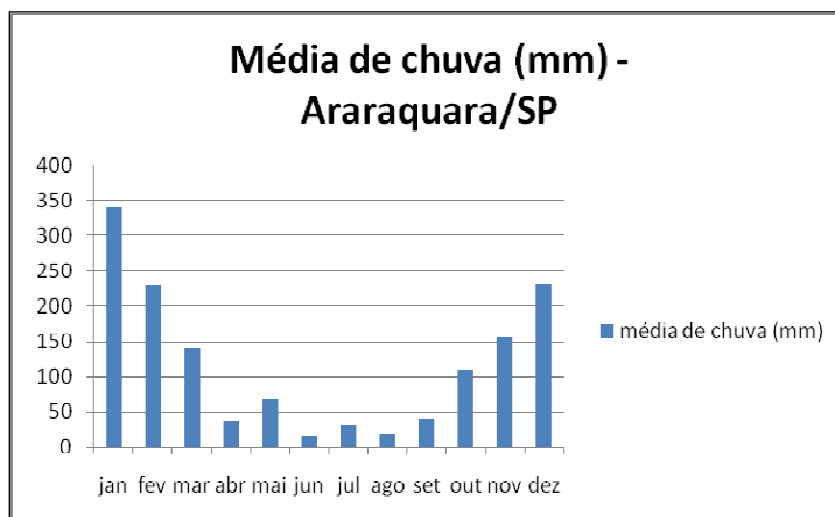
3.3.2. Araraquara

O município de Araraquara, juntamente com São Carlos e outras 24 cidades, integram a chamada região administrativa central do estado. Essa região possui uma população de cerca de um milhão de habitantes. Araraquara possui uma área total de 1.006 km², sendo 77,32 km² de área urbana. O IDH

do município, segundo o IBGE (2008), é de 0,830 valor considerado alto para regiões em desenvolvimento.

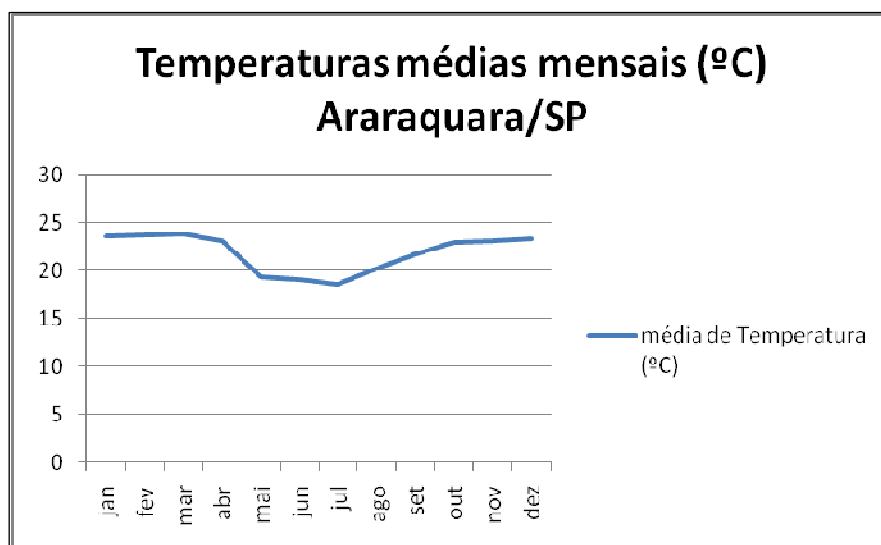
Araraquara localiza-se na parte elevada dos planaltos e chapadas da Bacia do rio Paraná, em altitudes que chegam a superam 750 metros. A vegetação primária do município é composta pela Floresta Latifoliada Tropical com presença de vegetação característica do cerrado.

As Figuras 17 e 18 mostram o comportamento médio mensal das variáveis pluviosidade e temperatura média para o município de Araraquara, para o período compreendido entre janeiro de 2001 e dezembro de 2007. Neste intervalo, as maiores médias pluviométricas estiveram concentradas entre os meses de novembro a janeiro, já os meses mais secos ocorrem entre junho a agosto. As maiores temperaturas, durante o período de estudo, ocorreram entre os meses de dezembro e fevereiro, e as menores temperaturas ocorrem a partir de abril, com os meses mais frios sendo de maio a julho. Esses dados estão de acordo com as médias históricas para Araraquara.



Fonte: CIIAgro.

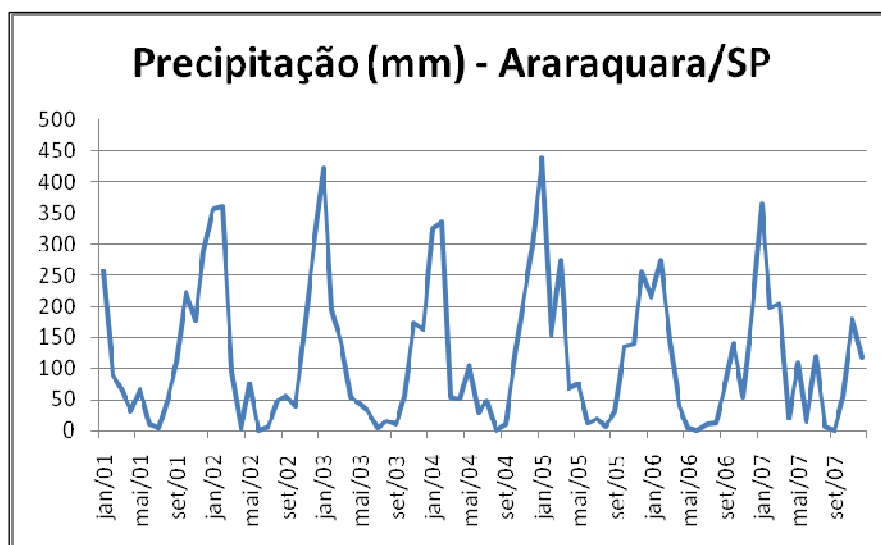
Figura 17 – Precipitação média mensal em Araraquara, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007.



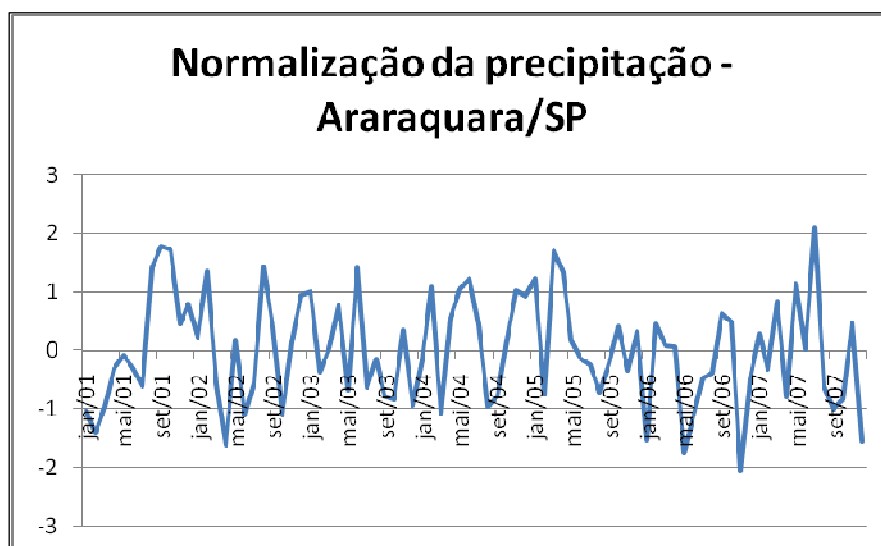
Fonte: CIIAgro.

Figura 18 – Temperatura média mensal em Araraquara, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007.

Na Figura 19a pode-se analisar o comportamento da chuva de forma isolada, ficando evidente que o mês de janeiro tem sido o mais úmido, nos últimos anos, na região de Araraquara. O período mais úmido tem início entre os meses de outubro e novembro. É possível também observar, que o mês de janeiro do ano de 2005 foi o mais úmido no período de janeiro de 2001 a dezembro de 2007, em Araraquara. A Figura 19b, que mostra a normalização da chuva no período de estudo indica que o comportamento dessa variável tem-se mantido dentro da normalidade climática histórica (Verões quentes e úmidos e invernos amenos e secos) para Araraquara. Embora o ano de 2006 tenha sido mais seco que o normal (Figura 19b).



(a)



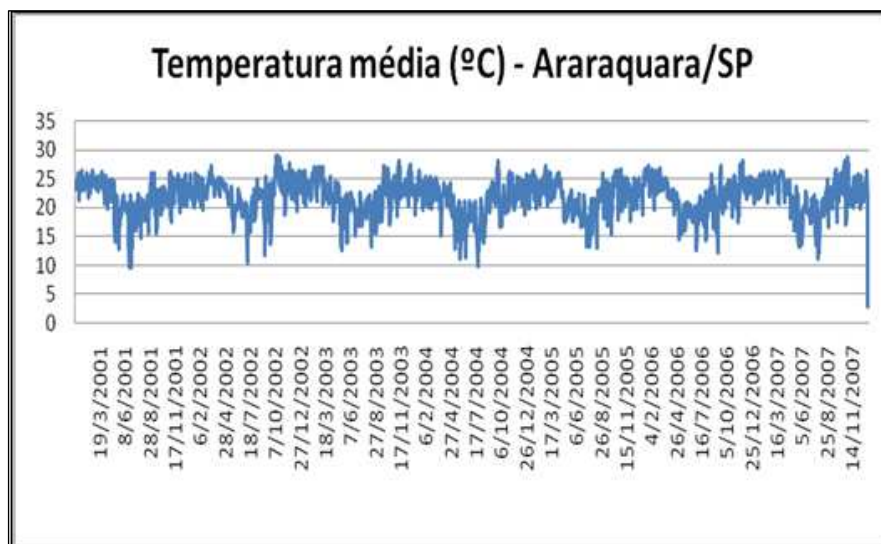
(b)

Fonte: CIIAGRO.

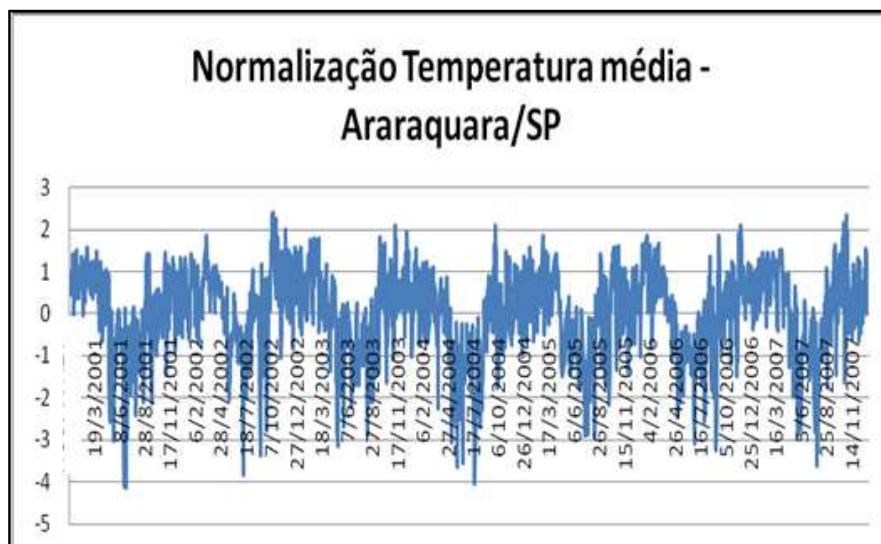
Figura 19 – Comportamento da precipitação mensal (a) e série temporal de precipitação normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Araraquara.

A Figura 20a trata da variável temperatura média de forma isolada. Pela figura pode-se perceber que o período com as maiores temperaturas médias se inicia no mês de dezembro, alcançando seu pico entre janeiro e fevereiro de cada ano. De acordo com a Figura 20a não se observa a existência de uma tendência de queda/aumento na temperatura nos sete anos estudados. Essa afirmação pode ser confirmada pelas Figuras 21a e 21b, que

mostram o comportamento médio das temperaturas máxima e mínima normalizadas para o município de Araraquara-SP. Nestas figuras nota-se que os invernos (verões) tem sido mais frios (quentes), em relação à média dos sete anos avaliados.



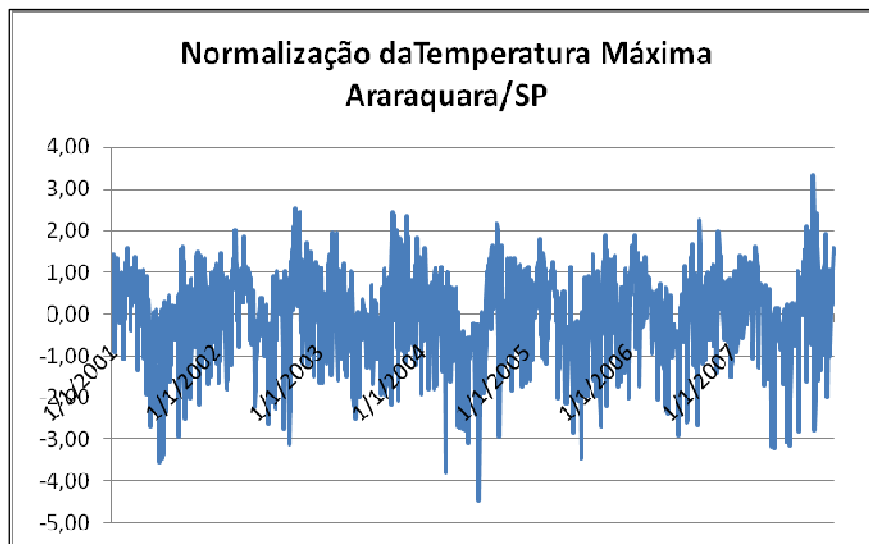
(a)



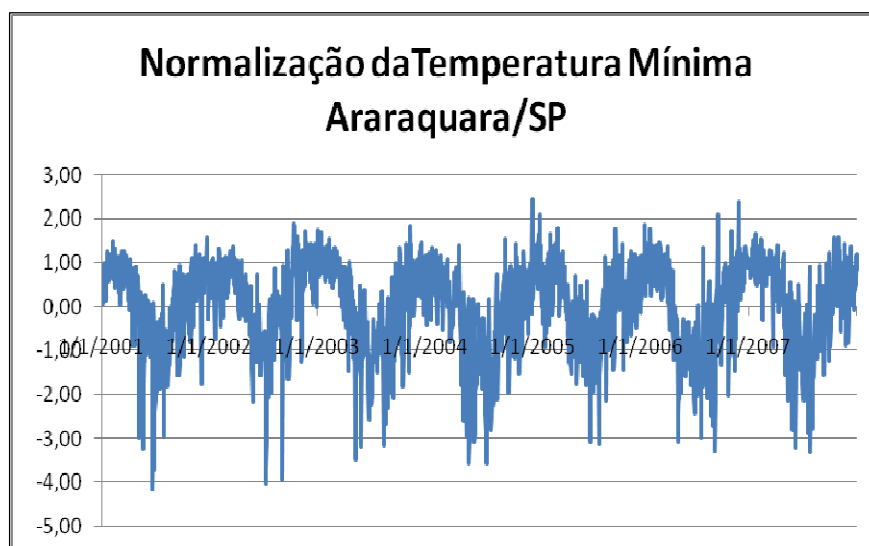
(b)

Fonte: CIIAGRO.

Figura 20 – Comportamento médio da temperatura (a) e série temporal de temperatura média normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Araraquara.



(a)



(b)

Figura 21 – Normalização das temperaturas máxima (a) e mínima (b), no período de 2001 a 2007, para Araraquara.

3.3.3. Campinas

O município de Campinas é formado pela cidade de Campinas e por quatro distritos. É a terceira cidade mais populosa do estado de São Paulo, ficando atrás de Guarulhos e da capital paulista. Possui uma região

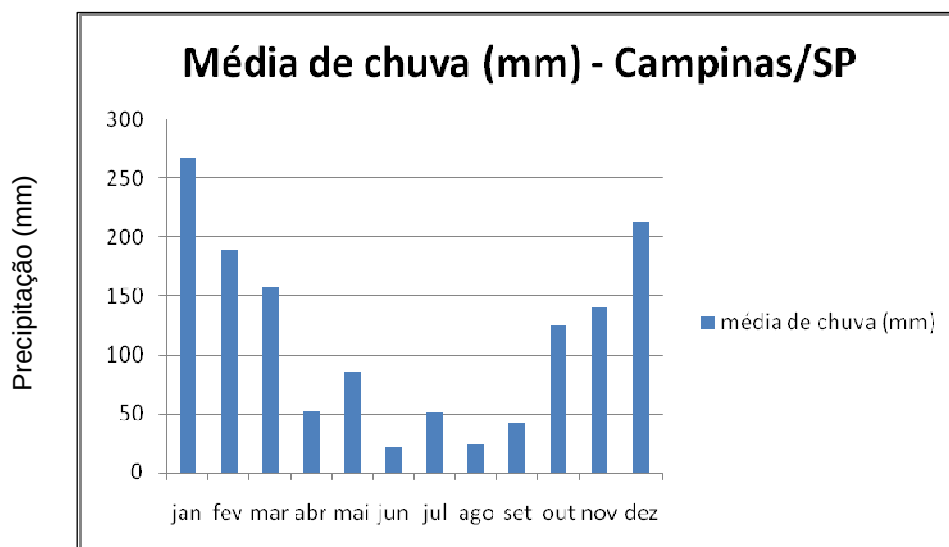
metropolitana composta por 19 municípios, contando com uma população com mais de 2,5 milhões de pessoas.

Campinas faz parte do chamado *Complexo Metropolitano Estendido* que ultrapassa os 29 milhões de habitantes, aproximadamente 75% da população do estado inteiro. As regiões metropolitanas de Campinas e de São Paulo já formam a primeira macro-metrópole do hemisfério sul, unindo 65 municípios que juntos abrigam 12% da população brasileira. O município de Campinas apresenta, individualmente, IDH de 0,852 (IBGE, 2008).

O relevo da cidade apresenta-se levemente ondulado, com poucas áreas planas, características da região de transição entre o Planalto Atlântico Paulista para Depressão Periférica do oeste.

As Figuras 22 e 23 mostram o comportamento da precipitação e da temperatura média nos últimos sete anos, para o município de Campinas. De acordo com a Figura 22, o período chuvoso tem início nos meses de outubro e novembro, e as maiores médias são identificadas em dezembro e janeiro. A partir de fevereiro, a chuva começa a diminuir, alcançando valores mínimos nos meses de junho a agosto. Com relação à temperatura (Figura 23), os meses mais quentes são dezembro a fevereiro, e os mais frios de maio a julho. O comportamento destas duas variáveis corresponde às médias históricas para a cidade.

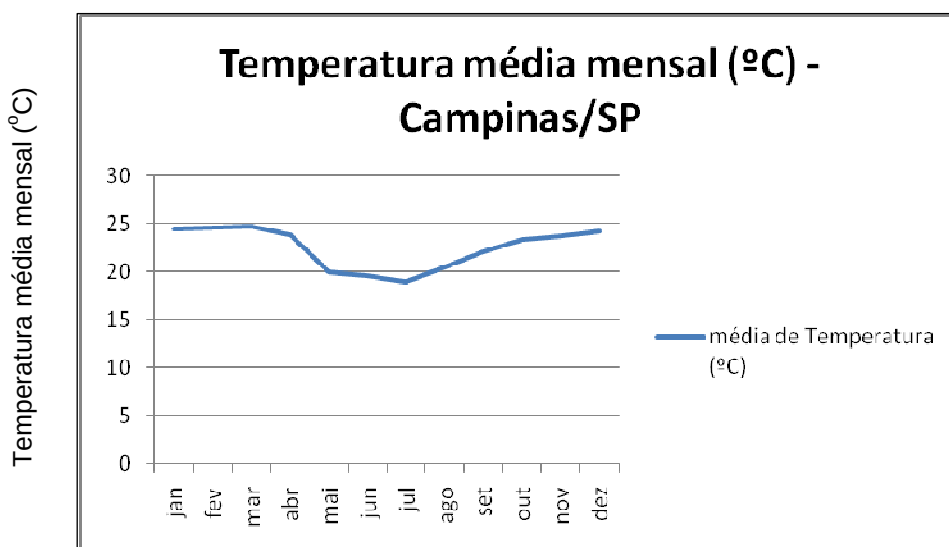
A Figura 24a indica o comportamento da chuva, de forma isolada, nos últimos sete anos. Durante esse período, as maiores médias pluviométricas foram identificadas nos meses de janeiro, com o início do período chuvoso por volta de outubro. Pode-se identificar um pico pluviométrico em janeiro de 2005. O gráfico de normalização da chuva (Figura 24b) indica que essa variável teve comportamento dentro da normalidade, não apresentando tendências de aumento ou queda no índice pluviométrico.



Meses dos anos de 2001 a 2007

Fonte: CIIAgro.

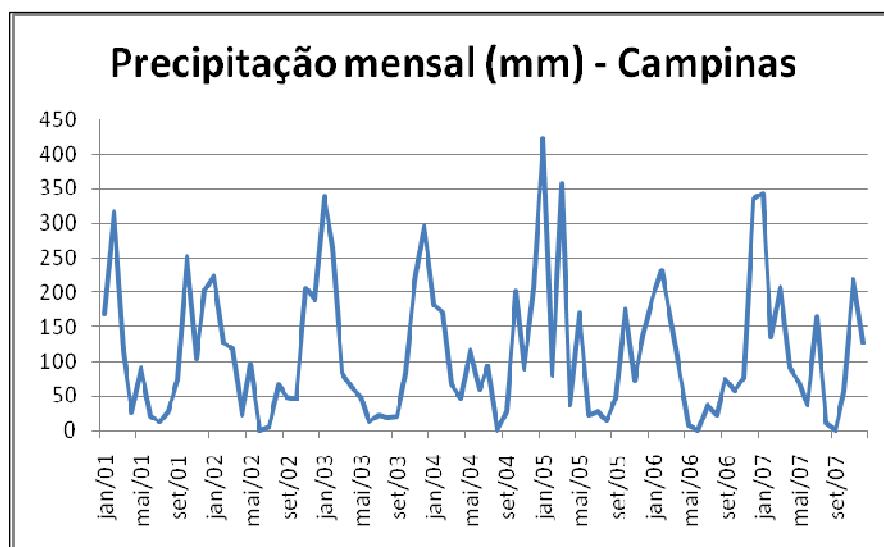
Figura 22 – Precipitação média mensal em Campinas, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007.



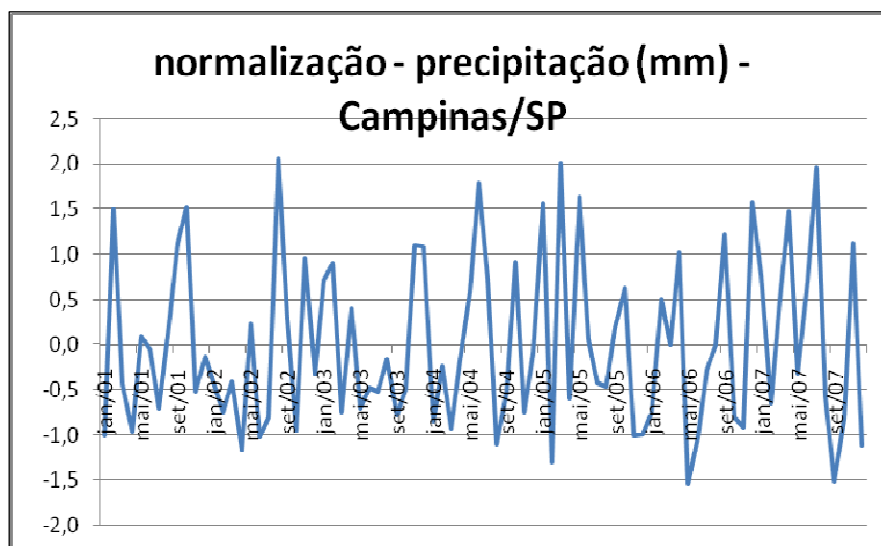
Meses dos anos de 2001 a 2007

Fonte: CIIAgro.

Figura 23 – Temperatura média mensal em Campinas, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007.



(a)

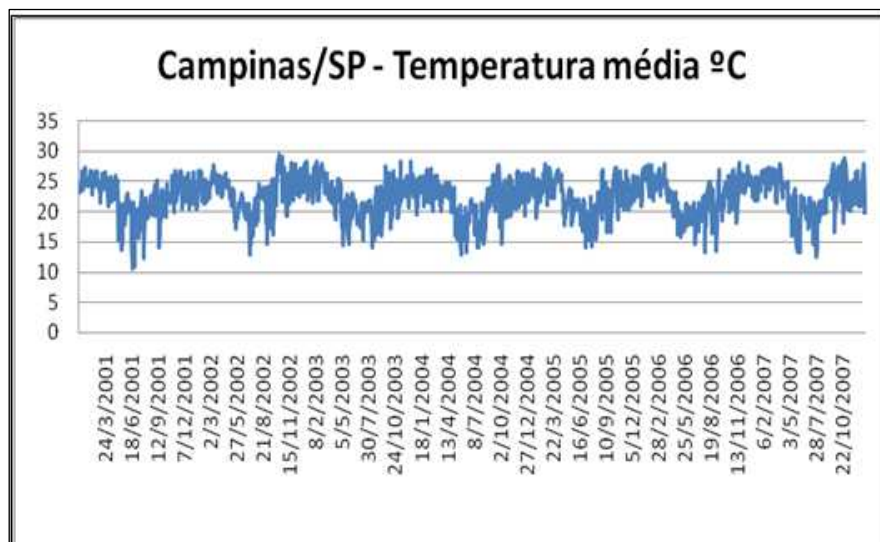


(b)

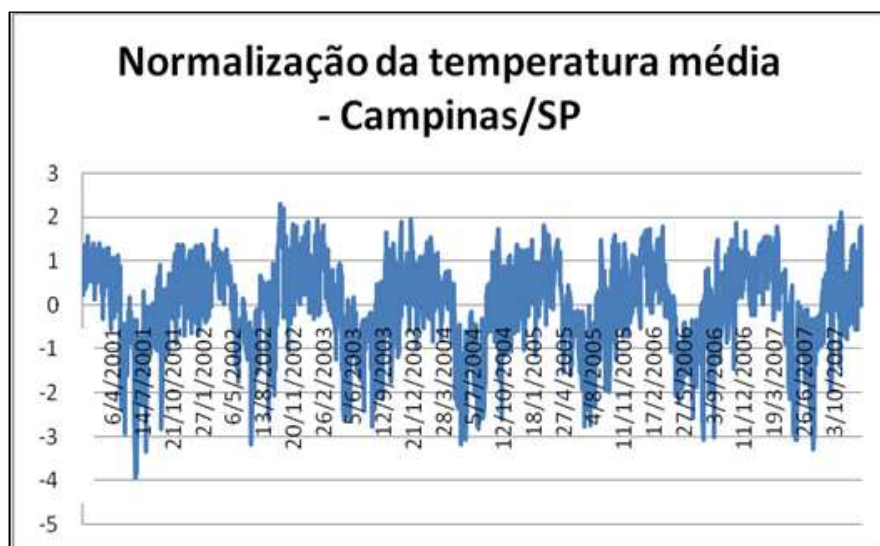
Fonte: CIIAGRO.

Figura 24 – Comportamento da precipitação mensal (a) e série temporal de precipitação normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Campinas.

A Figura 25a, que trata do comportamento da temperatura média no período de 2001 a 2007 e da normalização da mesma (Figura 25b), indica que não houve tendência de mudança no comportamento da temperatura durante o período estudado.



(a)

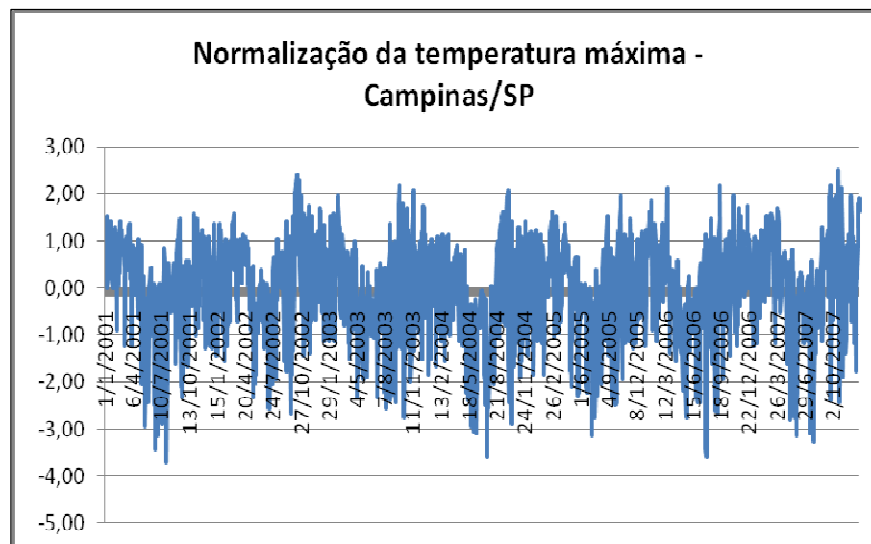


(b)

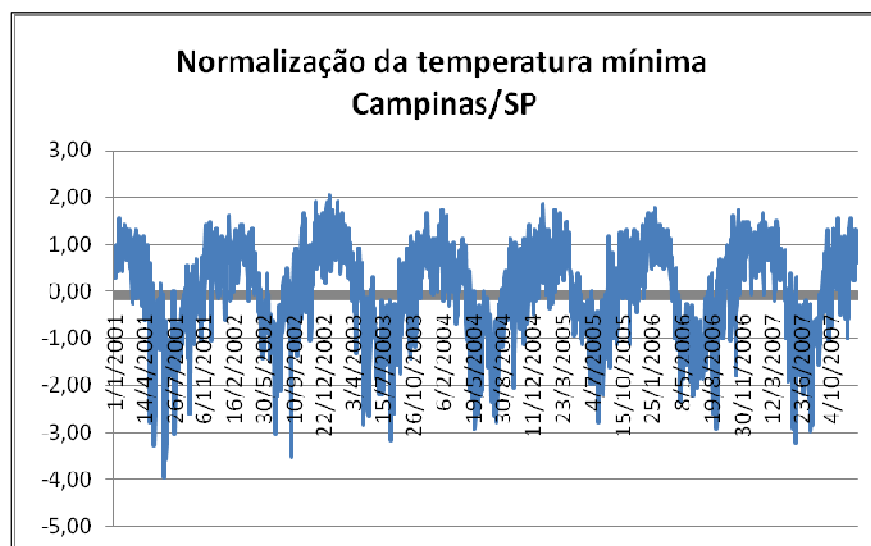
Fonte: CIIAGRO.

Figura 25 – Comportamento médio da temperatura (a) e série temporal de temperatura média normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Campinas.

Essa característica de normalidade também pode ser observada quando se trata das normalizações das temperaturas médias máximas e mínimas (Figuras 26a e 26b). Novamente deve ser ressaltado que o período de sete anos para uma avaliação climática e de tendências é extremamente curto.



(a)



(b)

Figura 26 – Normalização das temperaturas máxima (a) e mínima (b), no período de 2001 a 2007, para Campinas.

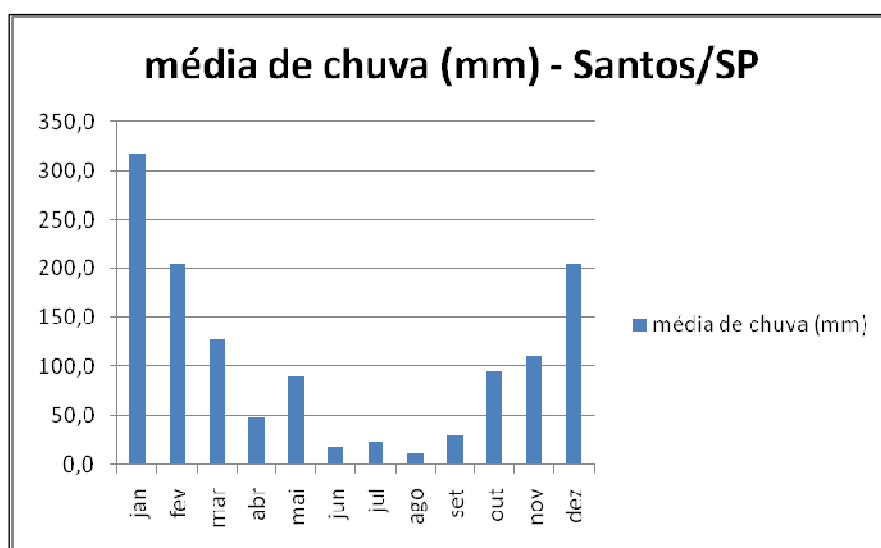
3.3.4. Santos

O município de Santos apresenta IDH de 0,871, acima da média do estado de São Paulo, que gira em torno de 0,779. A população do município supera os dois milhões de habitantes (IBGE, 2008).

O clima da região litorânea do estado de São Paulo é classificado, segundo Setzer (1966) como do tipo Af, que indica clima tropical chuvoso com

chuvas o ano todo. As médias anuais de precipitação e temperatura registradas para o período de 1961-90 foram, respectivamente, de 2.624 mm e 21,9°C. O mês de janeiro é, tradicionalmente, o mais chuvoso (376 mm) e junho o menos chuvoso (87,9 mm), enquanto o mês de fevereiro apresenta as maiores médias térmicas (30,4°C) e julho as temperaturas mais amenas (12,6°C), segundo o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

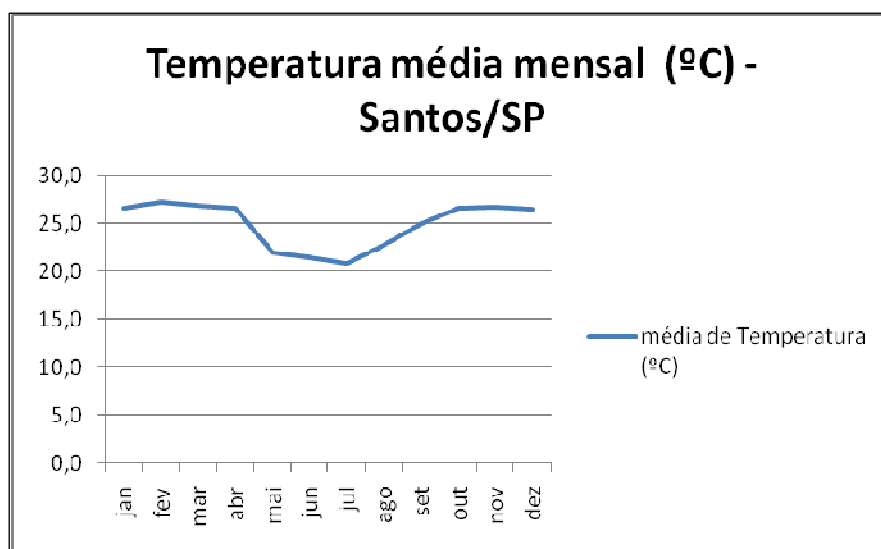
A Figura 27 mostra que durante esse período, as médias de chuva alcançaram seus maiores valores no mês de janeiro, no período 2001-2007. Durante esse período, as médias de chuva alcançaram seus maiores valores no mês de janeiro. O período chuvoso tem início por volta do mês de outubro. A partir de fevereiro, as médias pluviométricas começam a cair, chegando a níveis mínimos nos meses de junho a agosto, como previamente citado.



Fonte: CIIAgro.

Figura 27 – Precipitação média mensal em Santos, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007.

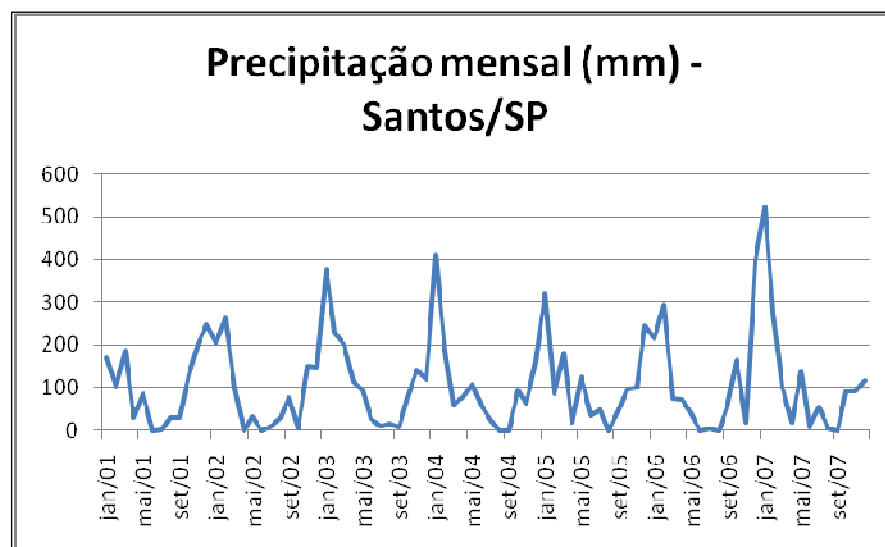
A Figura 28 mostra o comportamento da temperatura média para o município de Santos, no período 2001-2007. A temperatura apresenta comportamento sazonal com as maiores médias encontradas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. As menores temperaturas são encontradas nos meses de maio a julho. O comportamento dessas variáveis no período estudado condiz com as médias históricas para a região.



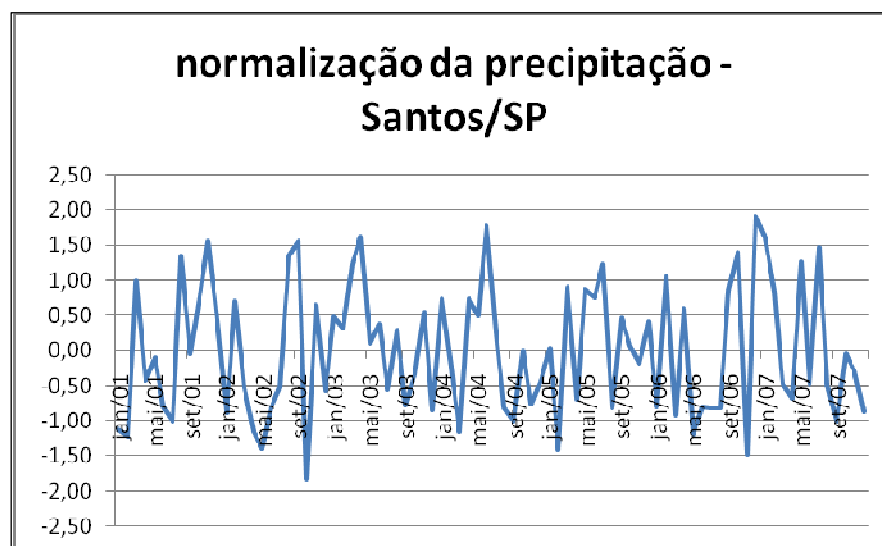
Fonte: CIIAgro.

Figura 28 – Temperatura média mensal em Santos, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007.

A Figura 29a apresenta o comportamento da chuva para o município de Santos, no período 2001-2007, ficando evidente que o mês de janeiro é o que apresenta os maiores níveis pluviométricos; sendo possível também identificar que o período chuvoso tem início após o mês de setembro. Nota-se, ainda, que o mês de janeiro de 2007 foi o mais úmido dos últimos sete anos. A normalização de precipitação, mostrada na Figura 30b, quando comparada com a Figura 29b, de valores mais positivos, indica períodos com maiores valores de precipitação quando comparados com a média do mesmo período.



(a)

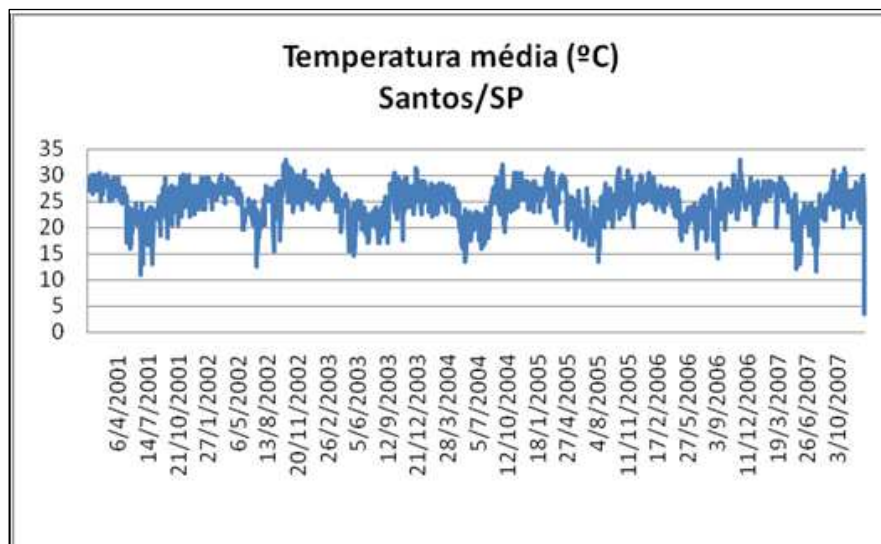


(b)

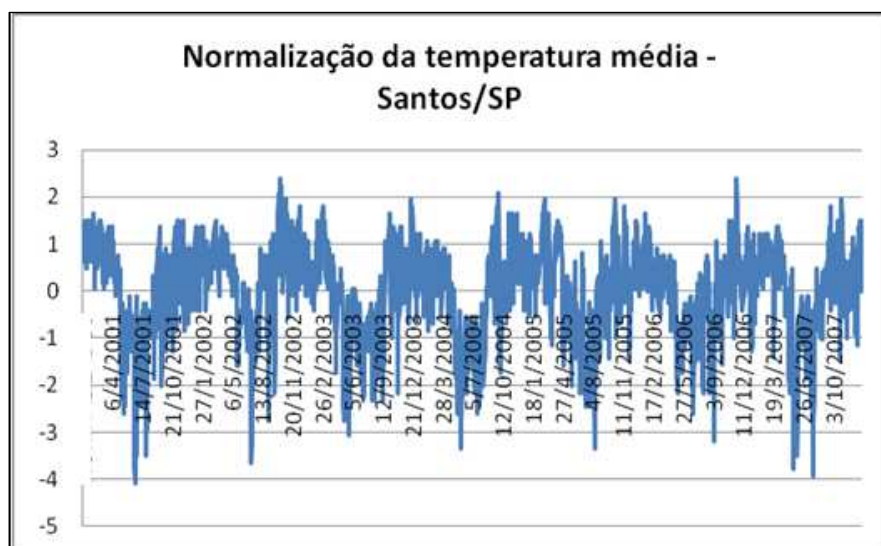
Fonte: CIIAGRO.

Figura 29 – Comportamento da precipitação mensal (a) e série temporal de precipitação normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Santos.

A Figura 30a trata do comportamento da temperatura média para o município de Santos e região. Analisando a Figura 30b, que trata da normalização da temperatura média para o período estudado, percebe-se que não existe comportamento anômalo dessa variável no período 2001-2007.



(a)

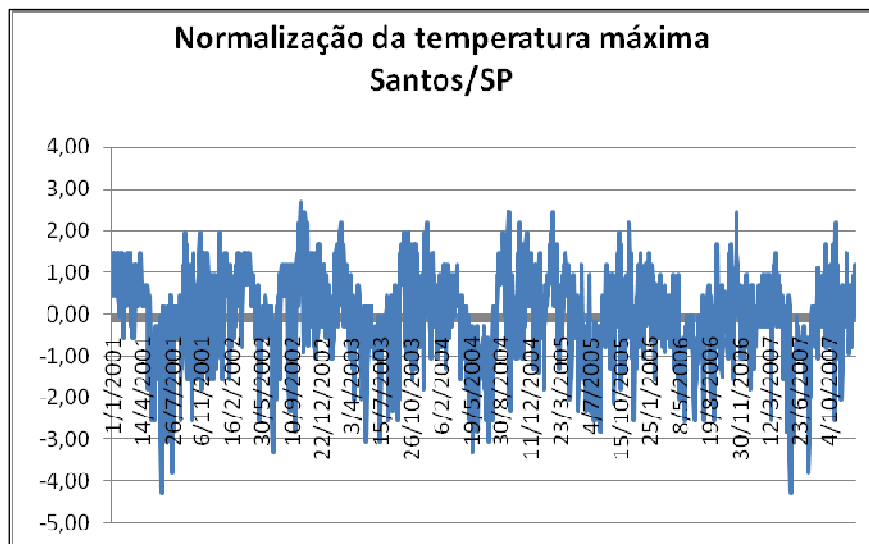


(b)

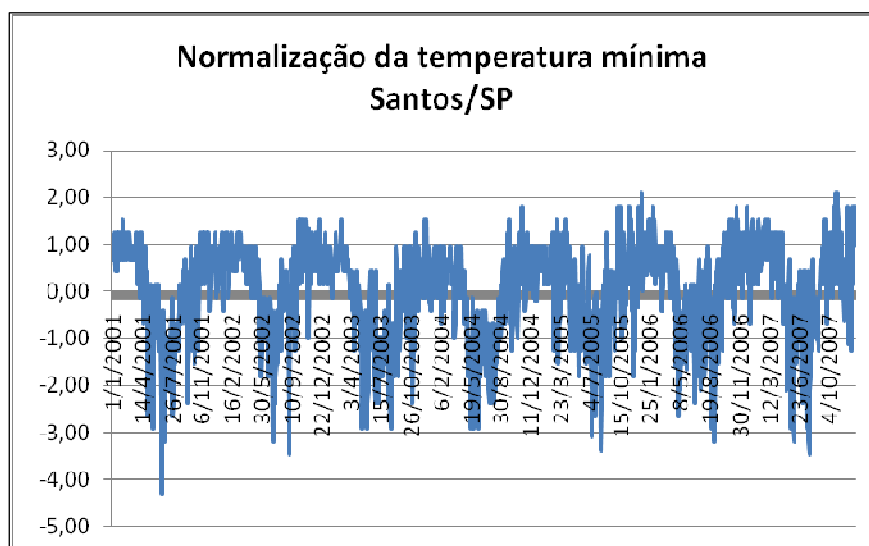
Fonte: CIIAGRO.

Figura 30 – Comportamento médio da temperatura (a) e série temporal de temperatura média normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para Santos.

Similar conclusão pode ser obtida para a temperatura máxima e temperatura mínima, onde não é notável uma tendência de aumento ou diminuição da amplitude térmica para o município de Santos (Figuras 31a e 31b).



(a)



(b)

Figura 31 – Normalização das temperaturas máxima (a) e mínima (b), no período de 2001 a 2007, para Santos.

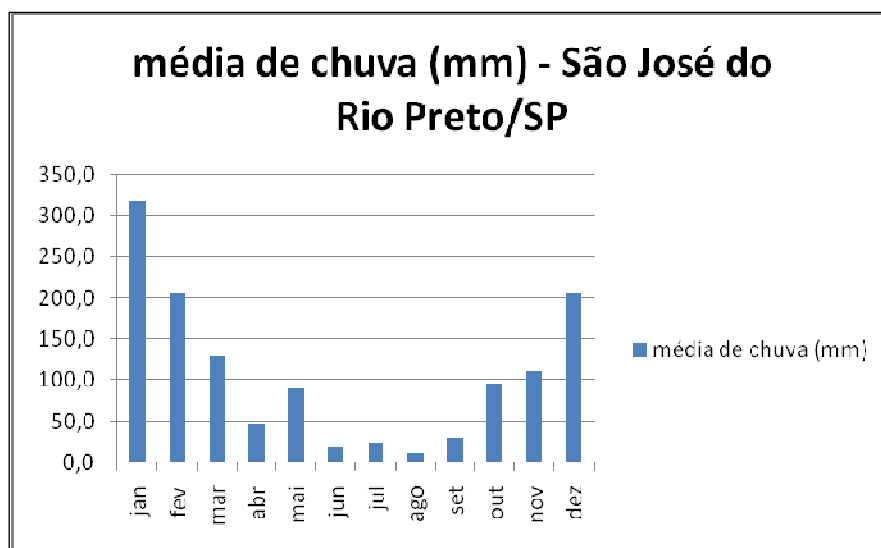
3.3.5. São José do Rio Preto

O município de São José do Rio Preto possui uma área de, aproximadamente, 434 quilômetros quadrados (sendo 83 km² de área urbana e 352 km² de área rural) e se localiza a 450 km da capital paulista. O município, segundo o IBGE (2008), apresenta IDH de 0,834, acima da média do estado de São Paulo, e uma população que supera os 400 mil habitantes.

A vegetação predominante na região de São José do Rio Preto é o cerrado, variando entre campo-sujo e campo-cerrado, dependendo da disponibilidade hídrica e fertilidade do solo.

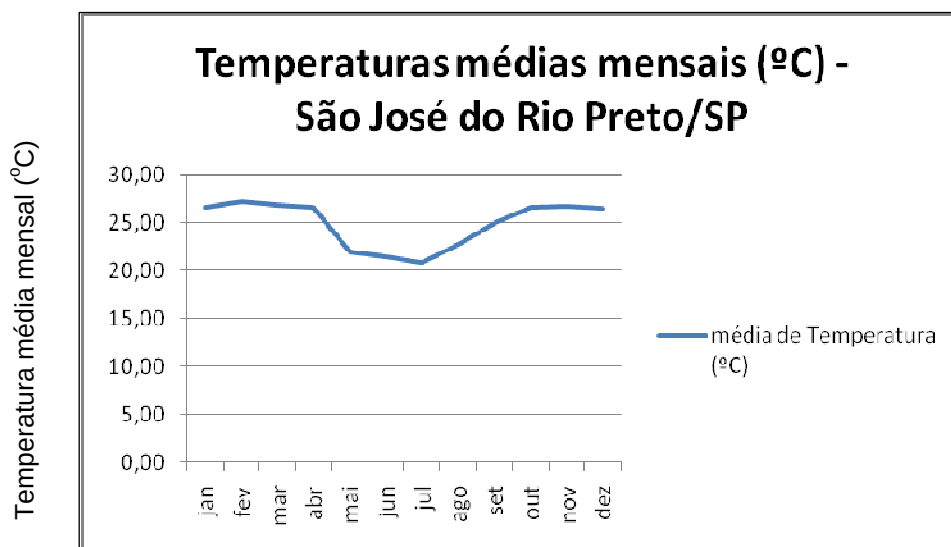
O clima de São José do Rio Preto apresenta, segundo dados do Centro de Pesquisas Meteorológicas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI), invernos amenos e secos, com a temperatura média do mês mais frio girando em torno dos 18°C. Os verões apresentam-se chuvosos, sendo o clima caracterizado como Aw pela classificação de Köppen. A precipitação média anual gira entre os 230 a 325 mm mensais.

As Figuras 32 e 33 mostram o comportamento da temperatura e das chuvas no período 2001-2007. Durante esse período, as variáveis citadas mantiveram o comportamento histórico, com as chuvas concentradas entre os meses de novembro a fevereiro, com as maiores médias identificadas em janeiro. A queda das médias pluviométricas inicia-se em fevereiro, alcançando valores mínimos de junho a agosto. A partir de setembro a estação chuvosa reinicia.



Fonte: CIIA Agro.

Figura 32 – Precipitação média mensal em São José do Rio Preto, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007.



Meses dos anos de 2001 a 2007

Fonte: CIIAgro.

Figura 33 – Temperatura média mensal em São José do Rio Preto, no período de janeiro a dezembro, para os anos de 2001 a 2007.

As médias térmicas do período 2001-2007 indicam as maiores temperaturas nos meses de dezembro a fevereiro. A partir de março, as médias térmicas começam a cair, alcançando as mínimas nos meses de junho e julho. Agosto já apresenta uma tendência de aumento da temperatura. Os dados não mostram nenhuma anormalidade em relação às médias históricas para a cidade de São José do Rio Preto.

A Figura 34a mostra o comportamento da chuva de forma isolada, durante o período estudado, nota-se picos pluviométricos nos meses de janeiro, em todos os anos e é possível identificar, ainda, um nível pluviométrico mais acentuado em janeiro de 2007. Analisando o gráfico da Figura 34b, que mostra a normalização da chuva, pode-se chegar a conclusão de que a tendência de chuva apresentada anteriormente, para os outros municípios, também se observa em São José do Rio Preto, com valores de precipitação na maior parte dos meses acima da média do período estudado.



(a)

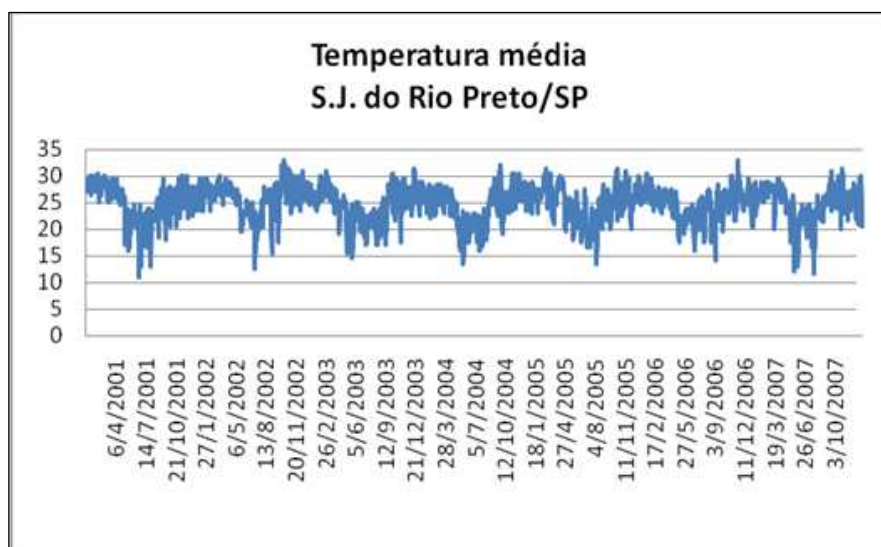


(b)

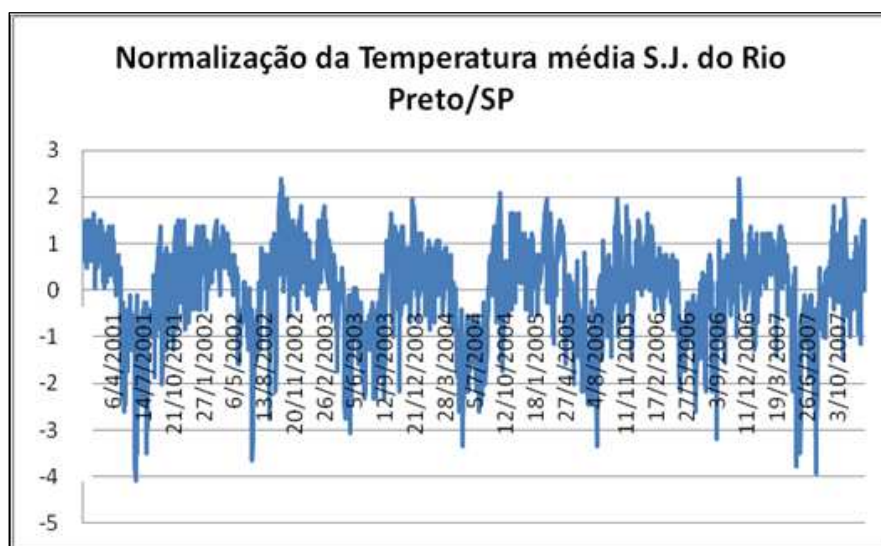
Fonte: CIIAGRO.

Figura 34 – Comportamento da precipitação mensal (a) e série temporal de precipitação normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para São José do Rio Preto.

A Figura 35a mostra o comportamento da temperatura. Através dessa figura, pode-se observar que os períodos que apresentam as maiores médias correspondem aos meses de setembro a janeiro, em todos os anos, não fugindo do comportamento histórico da temperatura. A Figura 35b, que trata da normalização da temperatura média, mostra que o comportamento da variável tem se mantido dentro da normalidade climática histórica, para o município.



(a)

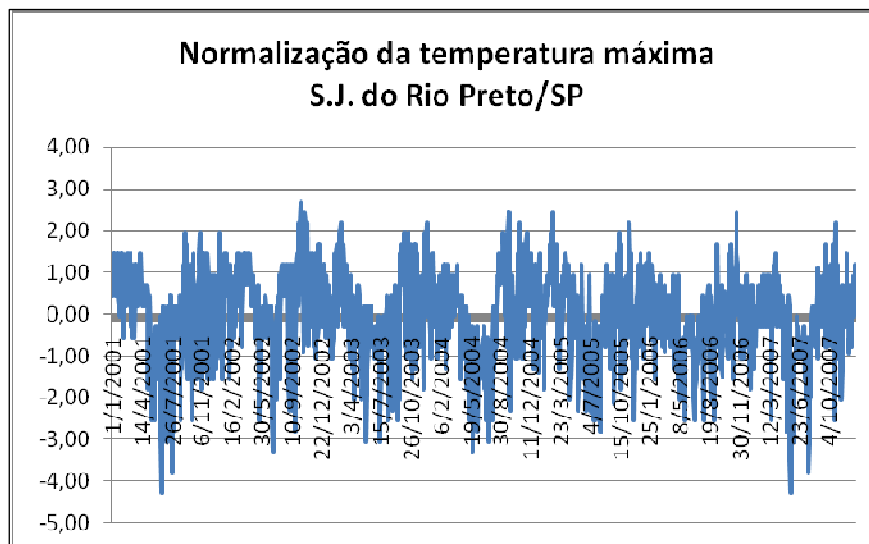


(b)

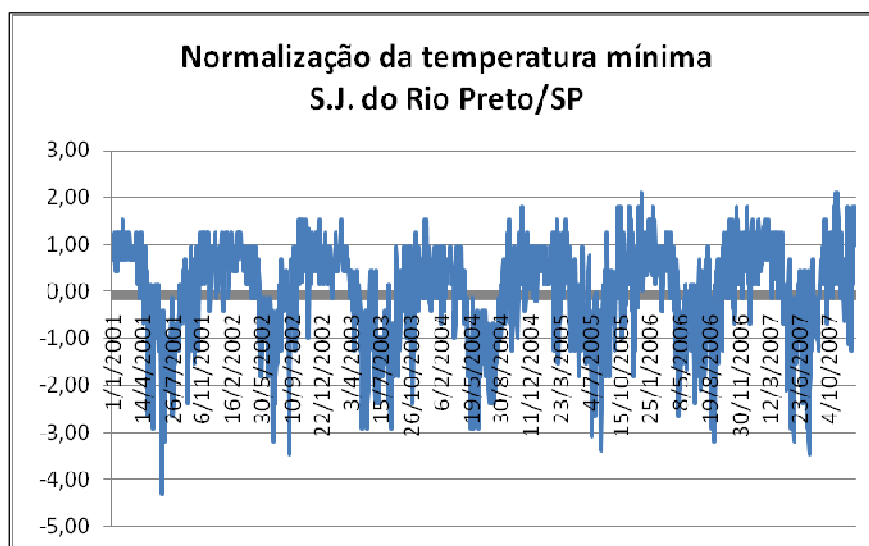
Fonte: CIIAGRO.

Figura 35 – Comportamento médio da temperatura (a) e série temporal de temperatura média normalizada (b), no período de 2001 a 2007, para São José do Rio Preto.

A Figura 36 faz referência à normalização das temperaturas máximas e mínimas para a cidade de São José do Rio Preto, no período compreendido entre os anos de 2001 a 2007, mostrando uma suave tendência de queda das médias máximas e uma leve tendência ascendente das médias mínimas.



(a)



(b)

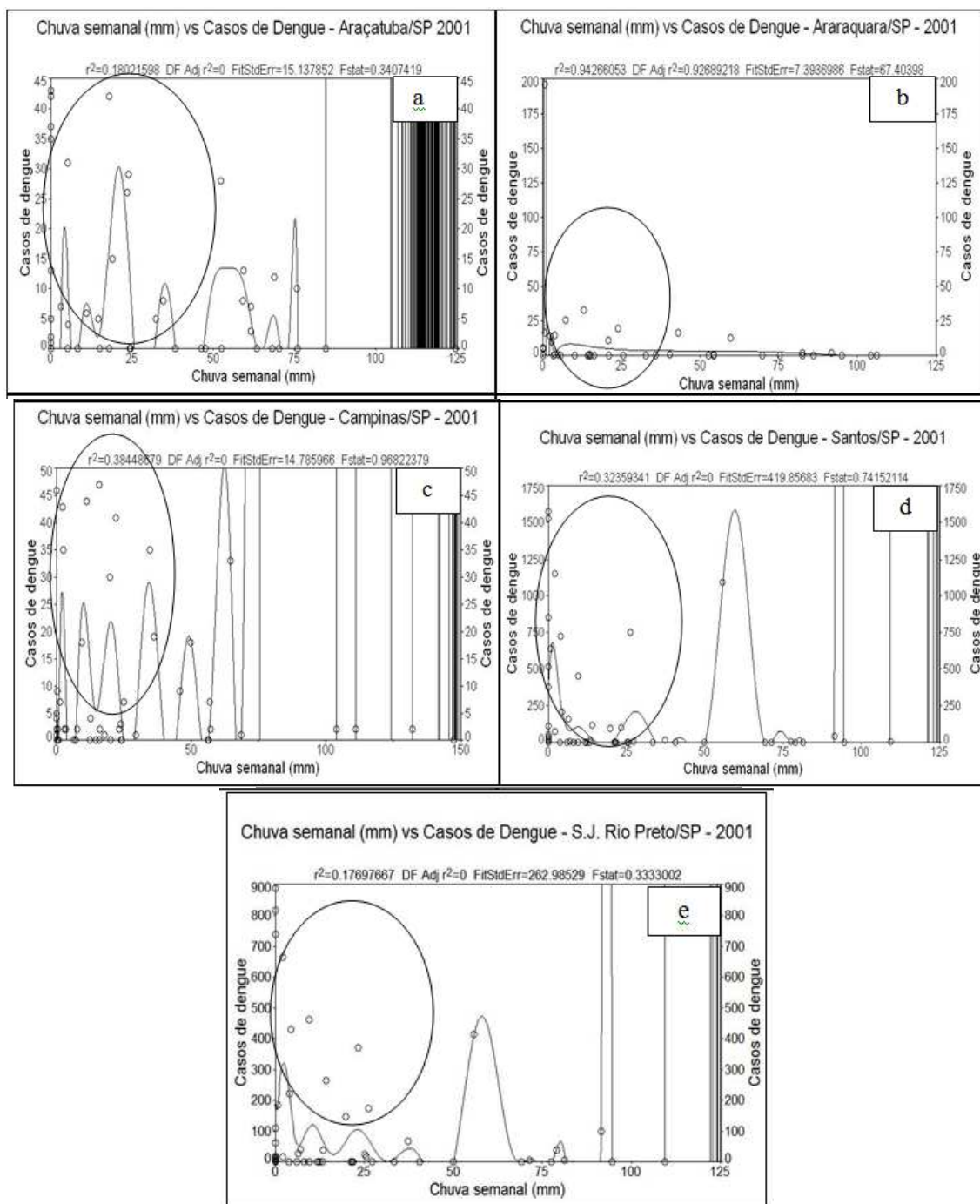
Figura 36 – Normalização das temperaturas máxima (a) e mínima (b), no período de 2001 a 2007, para São José do Rio Preto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise da relação entre chuva semanal e casos de dengue

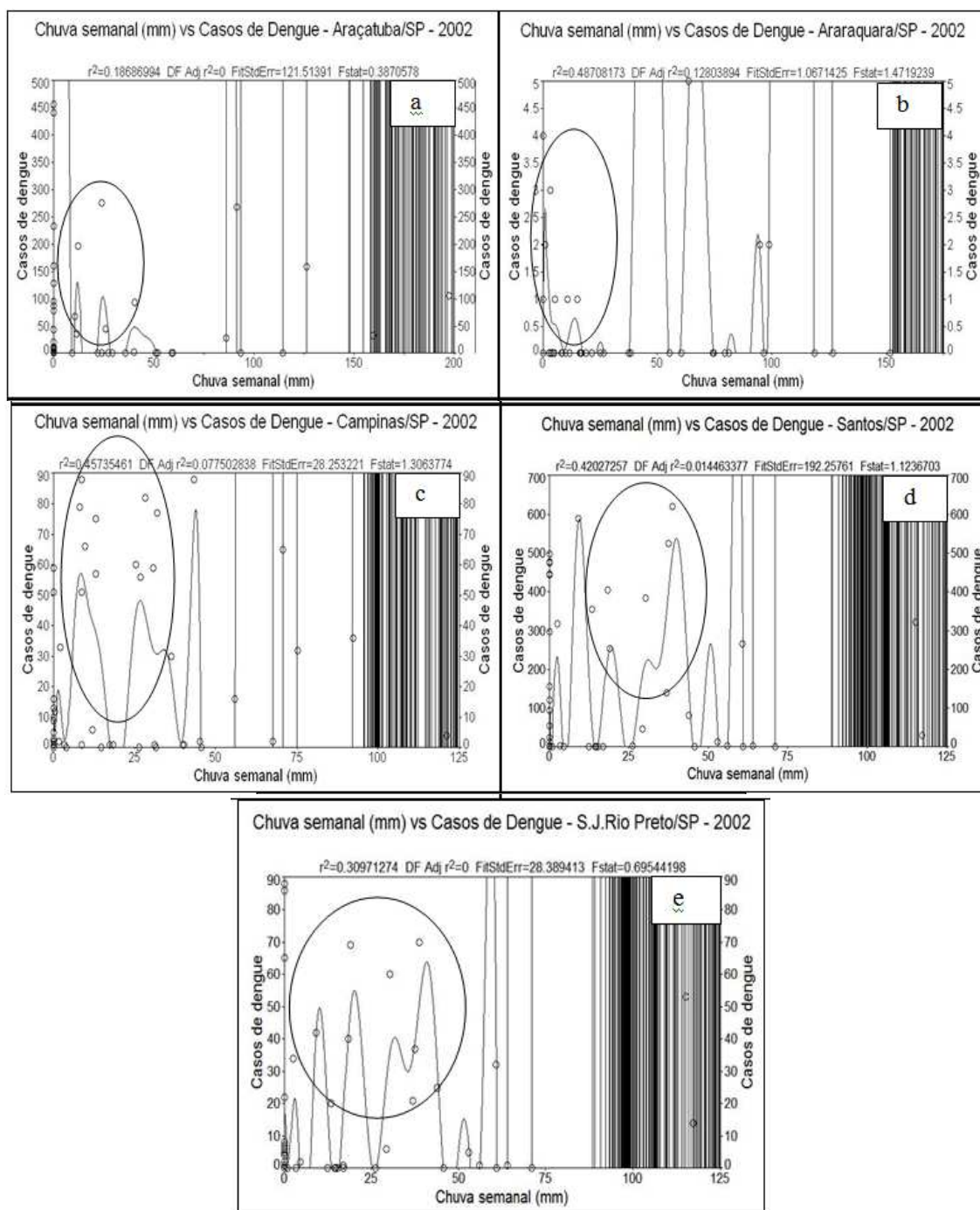
Analisando estatisticamente a relação entre os casos de dengue e os índices pluviométricos semanais nos municípios estudados chega-se à conclusão que, na maioria das vezes, índices de chuva semanais superiores a 50 mm contribuem para a redução dos casos da doença. Isso porque a chuva age como fator inibidor de epidemias de dengue porque retira um grande número de vetores de ação, através de sua derrubada, e de ovos de circulação, devido à limpeza que promove nos recipientes onde estão estes depositados (TAKAHASHI, 2004).

Esse foi o comportamento padrão para o ano de 2001, conforme mostra a Figura 37. Em todos os municípios, a maior incidência de dengue ocorreu nos períodos em que a chuva não ultrapassou os níveis semanais citados anteriormente. No ano de 2002 (Figura 38), esse padrão se repetiu, com a maioria dos casos ocorrendo quando os níveis pluviométricos semanais não ultrapassaram os 50 mm. O ano de 2003 (Figura 39) apresentou uma variação a essa regra nos municípios de Santos (Figura 39d) e São José do Rio Preto (Figura 39e), que apresentaram um grande número de casos para níveis pluviométricos acima dos 50 mm limitantes. Essa característica pode estar ligada a ocorrências de veranicos entre os períodos de maior precipitação.



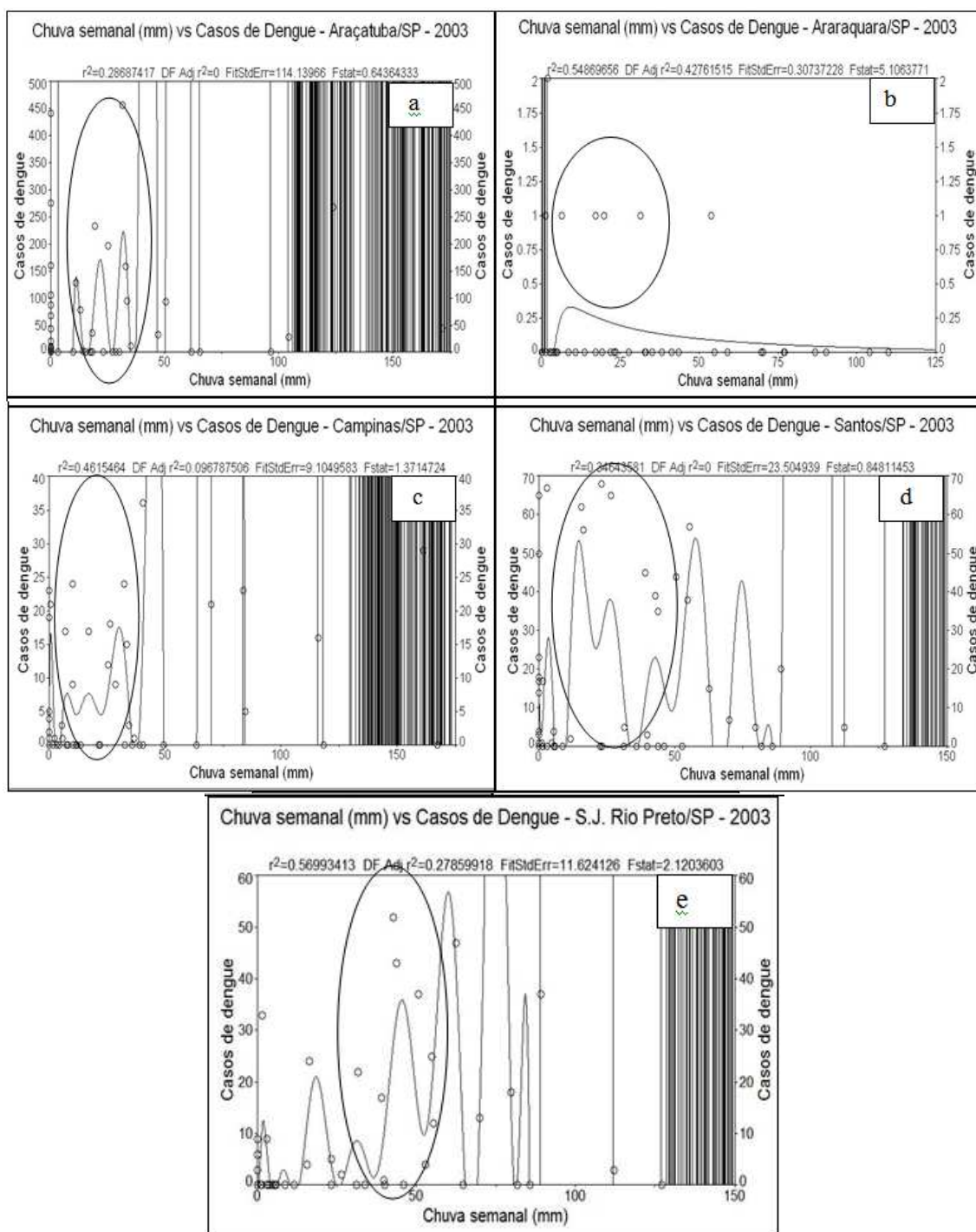
Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

Figura 37 – Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2001.



Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

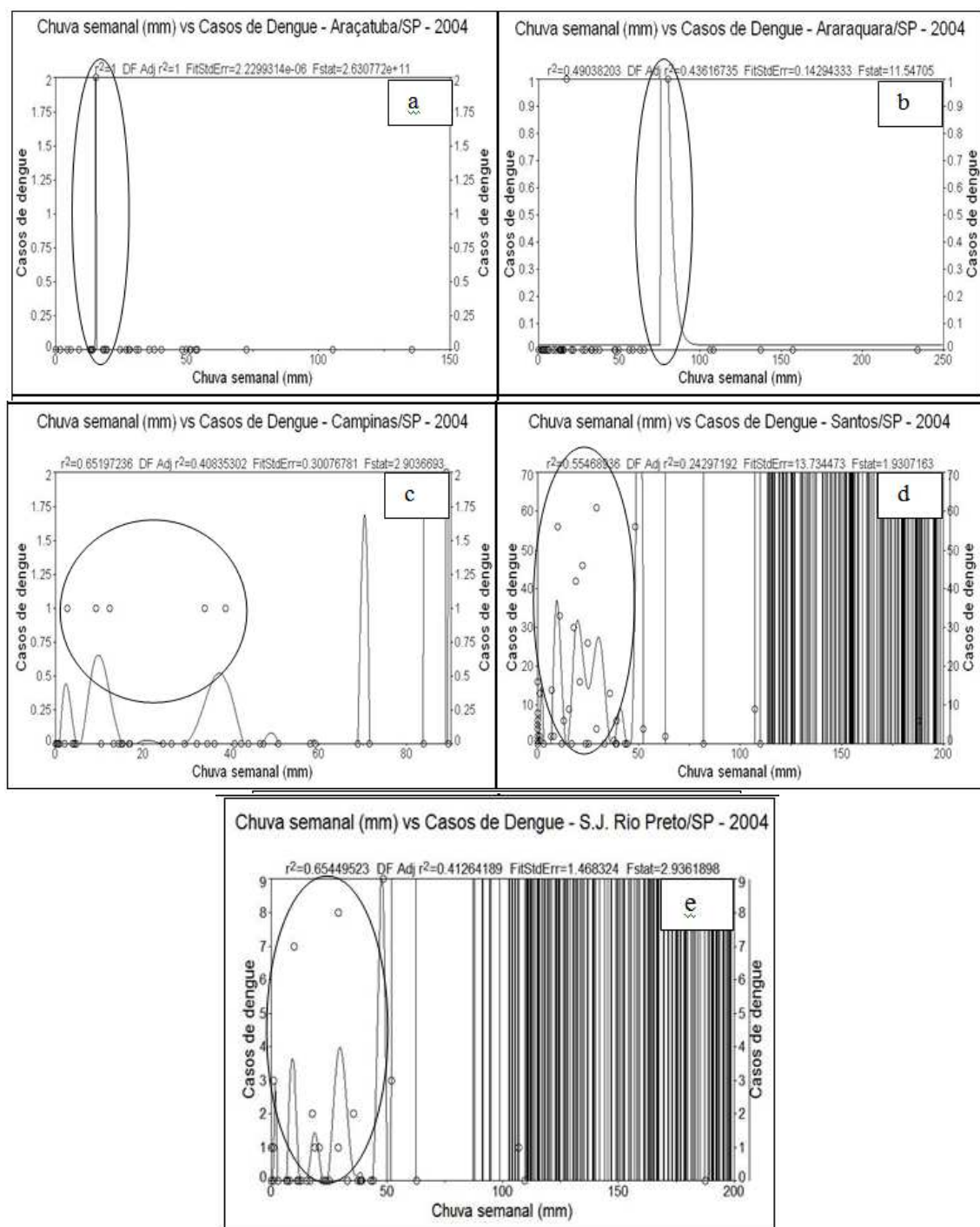
Figura 38 – Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2002.



Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

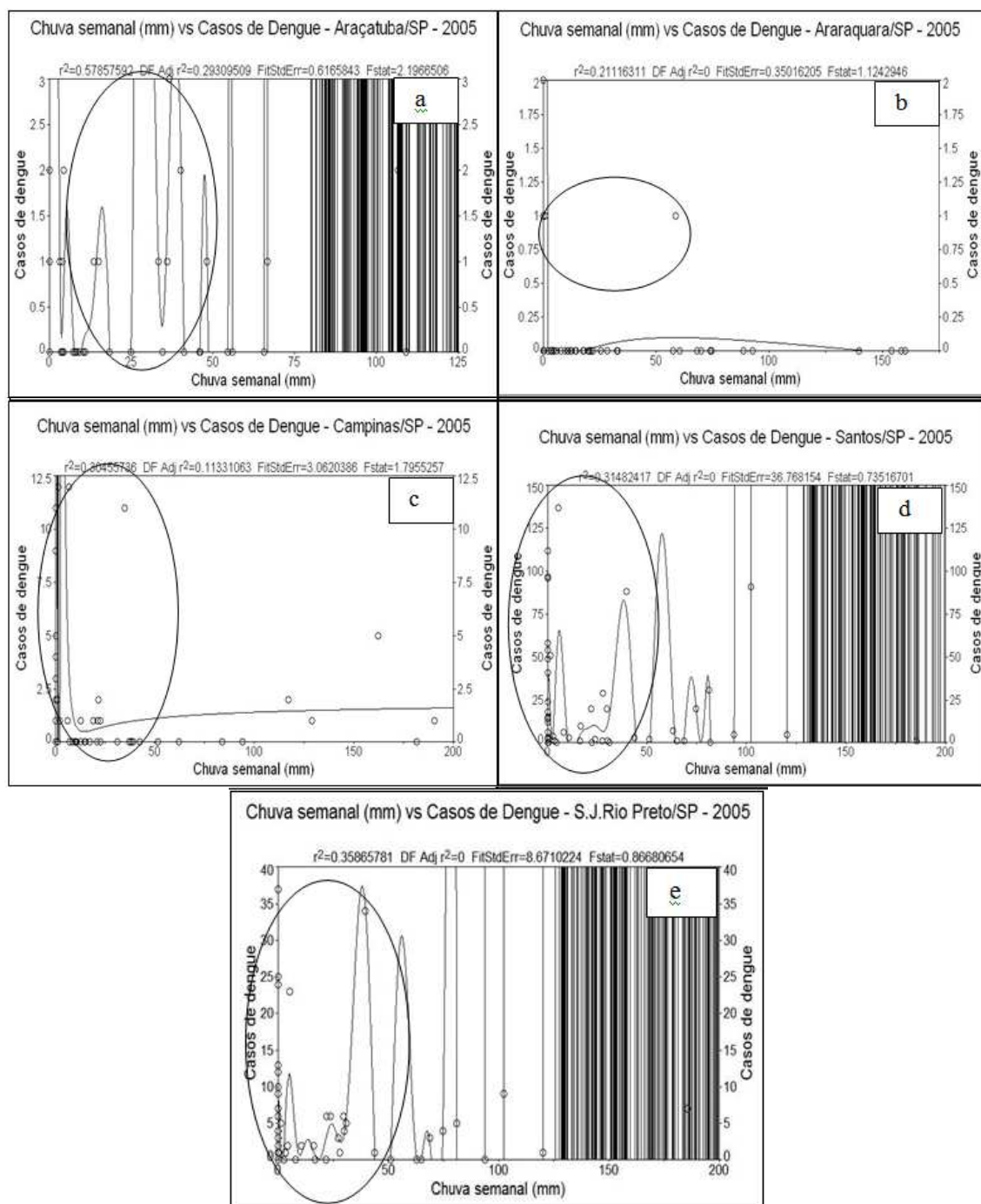
Figura 39 – Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2003.

O ano de 2004 (Figura 40) não apresentou grande incidência da doença na maioria dos municípios, com exceção de São José do Rio Preto (Figura 40e). Nos anos seguintes, a incidência da dengue foi aumentando gradativamente, mas respeitando, na maioria das vezes, os limites pluviométricos observados. No ano de 2005 (Figura 41), o número de ocorrências da doença começa a subir em todos os municípios, após a queda apresentada no ano anterior; os casos de 2005 mantiveram o padrão observado nos anos anteriores, ficando concentrados abaixo dos 50 mm semanais. Em 2006 (Figura 42) e 2007 (Figura 43), pode-se observar um grande crescimento no número de casos, em todos os municípios dos estudos. Assim como observado anteriormente, os novos casos também mantiveram o padrão, respeitando, na maioria das vezes, o limite de 50 mm/semana de chuva.



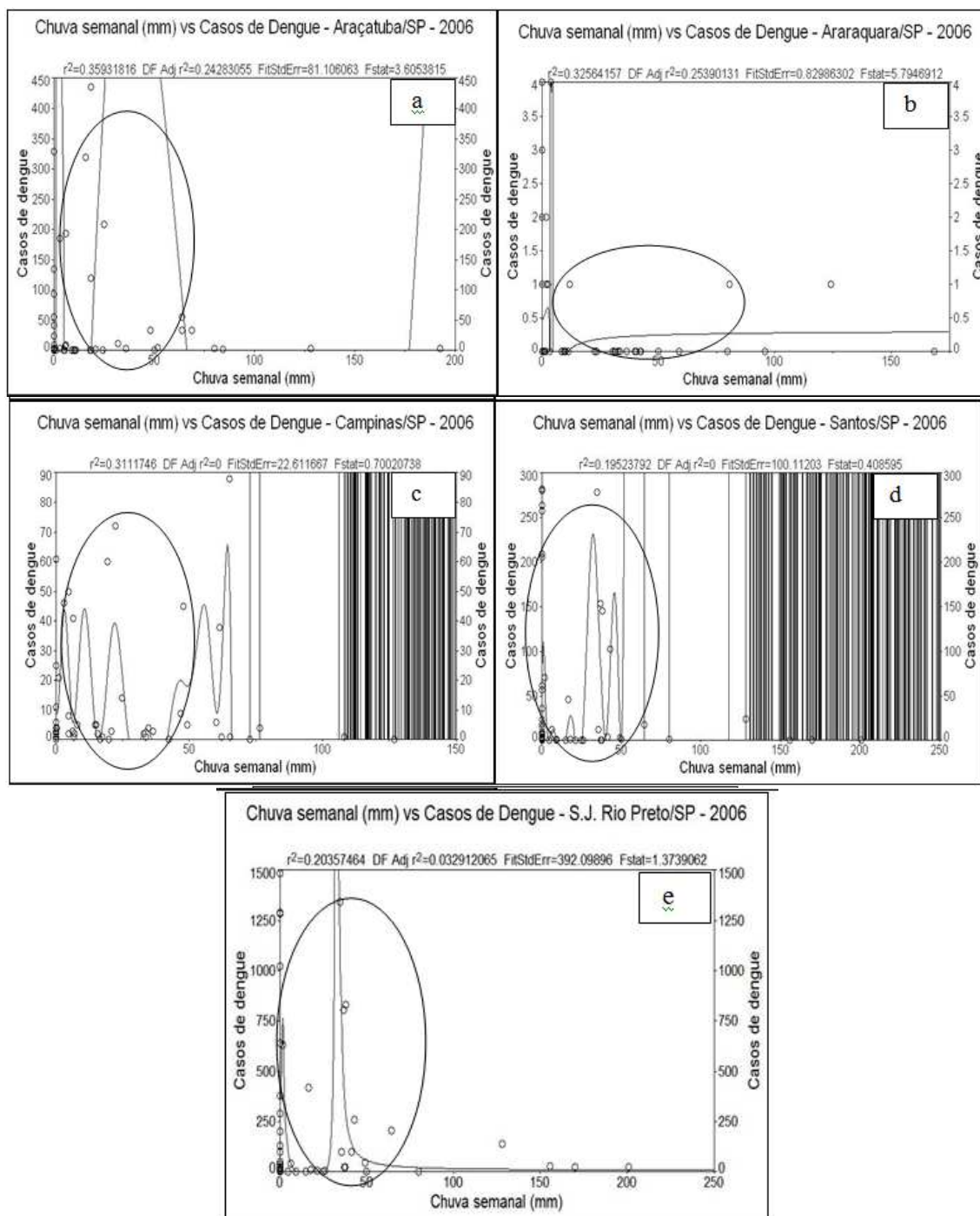
Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

Figura 40 – Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2004.



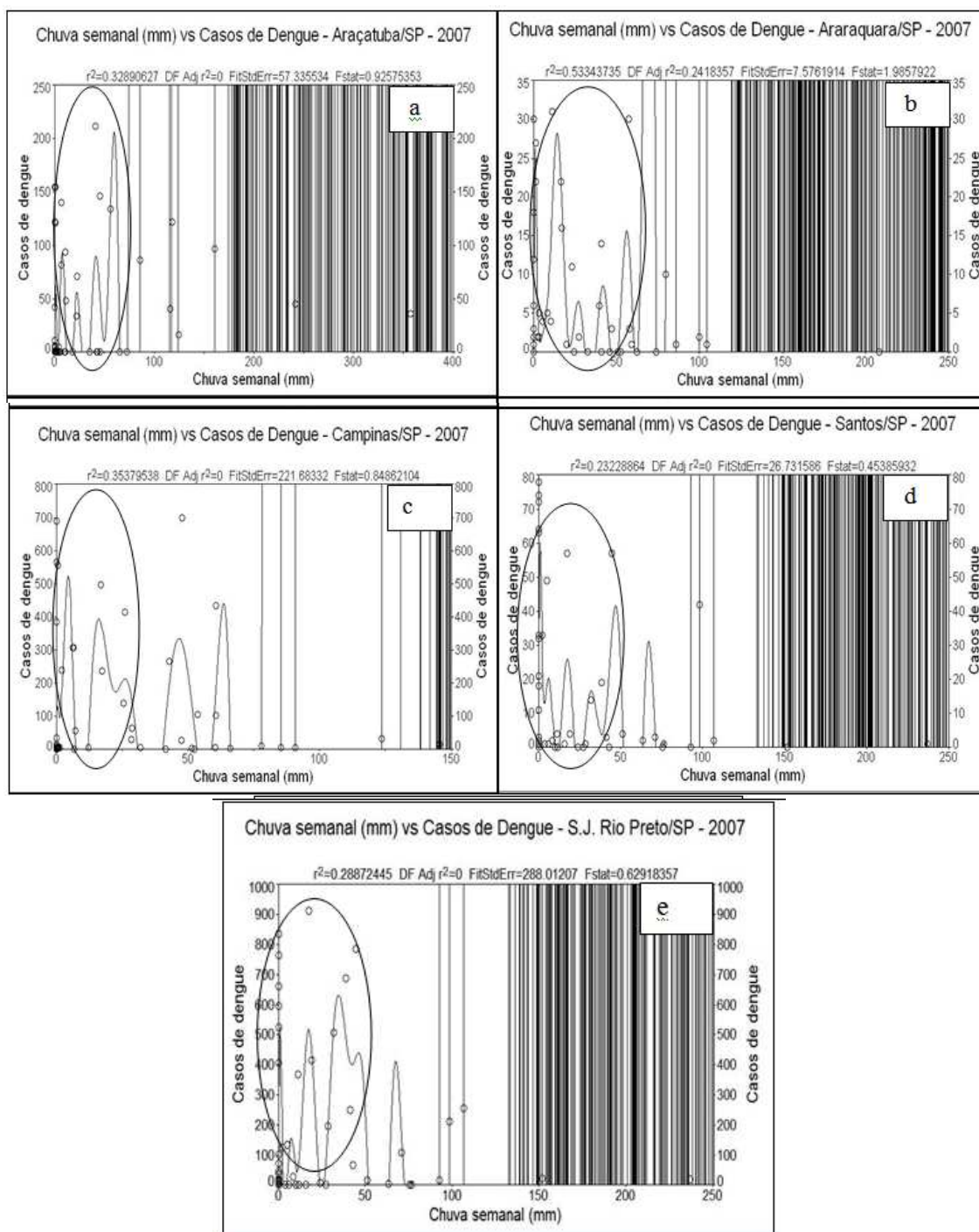
Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

Figura 41 – Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2005.



Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

Figura 42 – Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2006.



Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

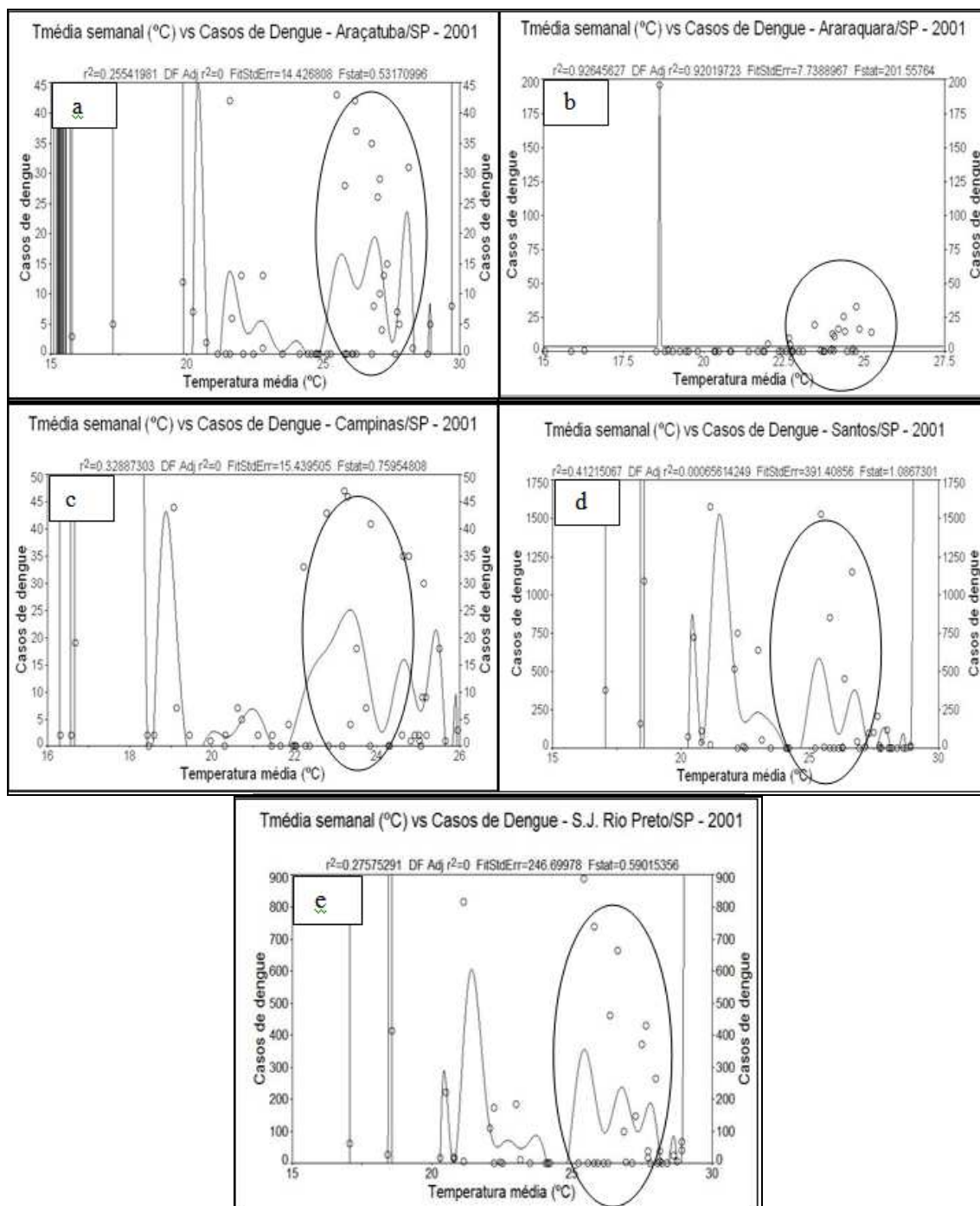
Figura 43 – Casos de dengue versus nível de chuva semanal para o ano de 2007.

4.2. Análise da relação entre temperatura média semanal e casos de dengue

Com relação à temperatura média dos municípios e os casos de dengue ocorridos nos mesmos (vale lembrar que foram utilizados como dados de entrada a temperatura média semanal e os casos por semana epidemiológica), pode-se observar que na maioria das vezes os casos da doença ocorreram quando as temperaturas médias variaram entre 22 e 30°C. Na maioria dos municípios analisados, a temperatura média ideal que favoreceu o surgimento de casos de dengue girou em torno dos 25°C, o que confirma Rueda (1990), que afirma que a temperatura ideal para o desenvolvimento da população de *Aedes aegypti* gira entre 20 e 30°C, sendo a temperatura preferencial para transmissão da doença aquelas acima dos 20°C.

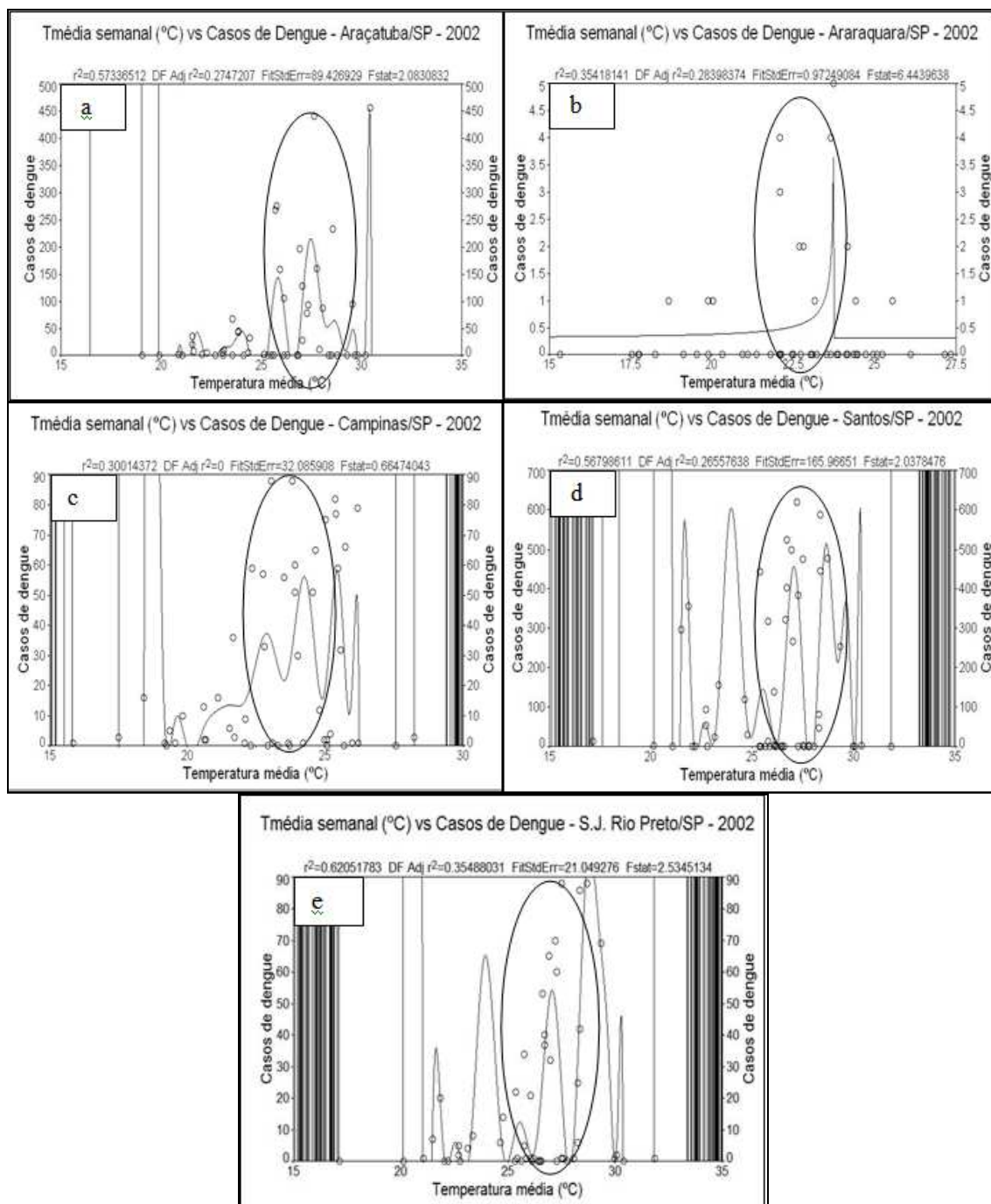
Na Figura 44, que representa a relação estatística entre temperatura média e casos de dengue para o ano de 2001, pode-se observar que esse padrão descrito acima se confirma. Em todos os municípios, os casos ocorreram quando as temperaturas médias superaram os 20 ou 22°C. A Figura 45 apresenta o ano de 2002, percebe-se novamente esse padrão, com situações de explosão de casos quando a temperatura atingiu níveis acima dos 25°C. Esses padrões se repetem nos anos de 2003 (Figura 46), 2006 (Figura 49) e 2007 (Figura 50).

Os anos de 2004 (Figura 47) e 2005 (Figura 48) apresentaram grande redução nos casos de dengue em todos os municípios, chegando a níveis próximos de zero em Araçatuba, Araraquara e Campinas. Santos e São José do Rio Preto mantiveram níveis consideráveis de casos. Esses dados nos mostram que, apesar das variáveis climáticas estarem de acordo com os níveis para a ocorrência de casos de dengue, essa característica, por si só, não garante que a doença irá ocorrer de modo peremptório. A ocorrência da doença depende de ações antrópicas de combate aos focos e ao vetor.



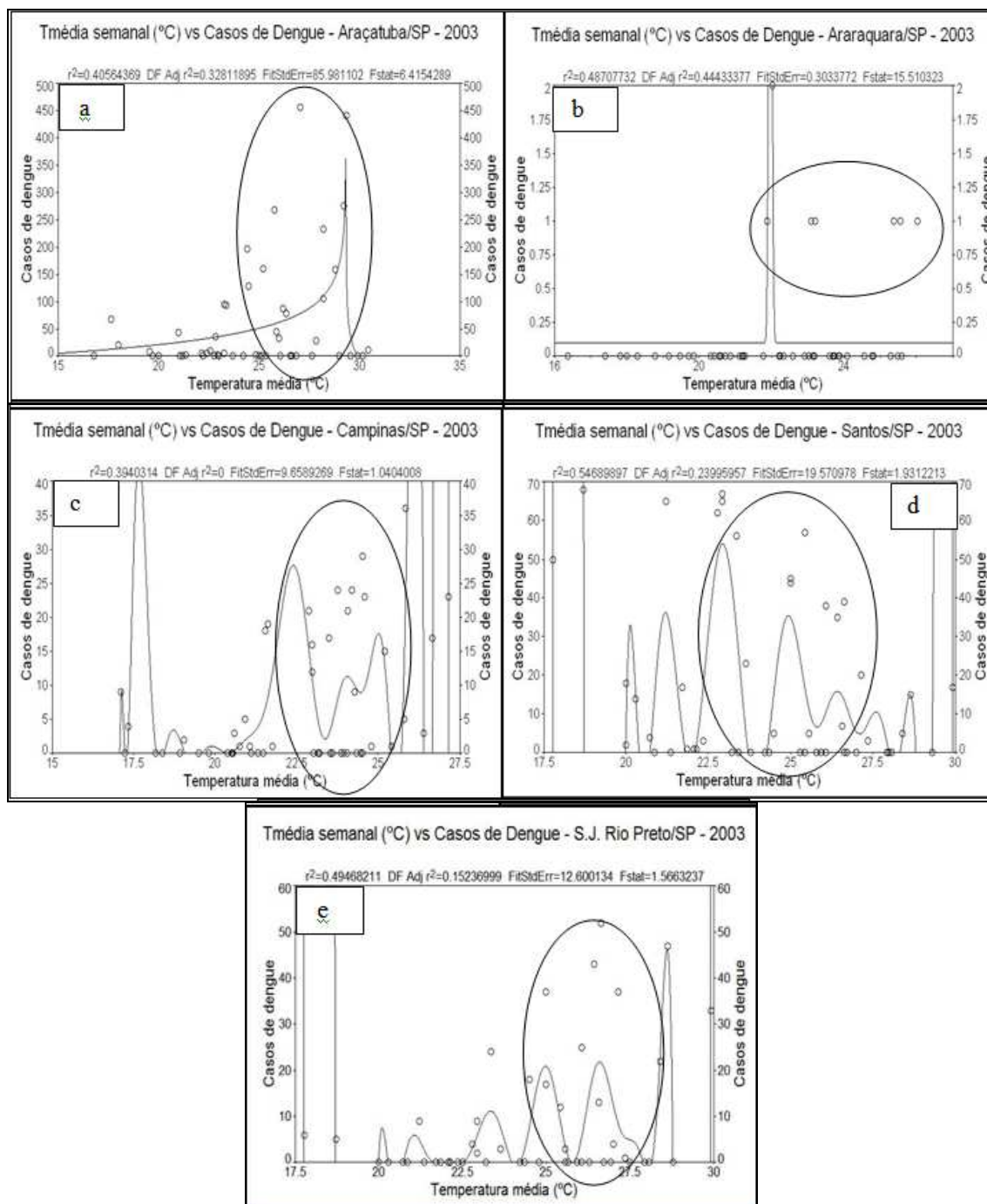
Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

Figura 44 – Casos de dengue versus temperatura média semanal para o ano de 2001.



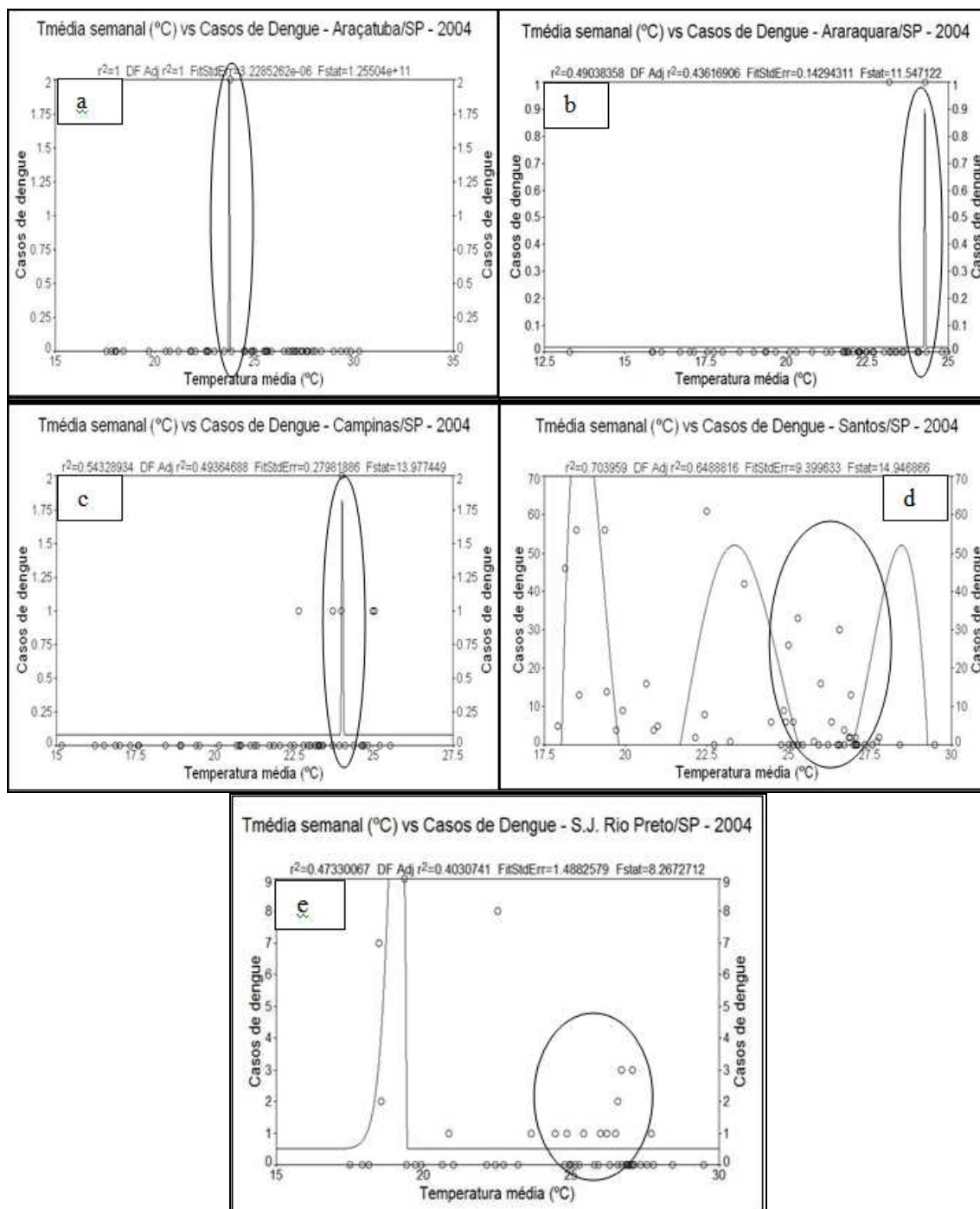
Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

Figura 45 – Casos de dengue versus temperatura média semanal para o ano de 2002.



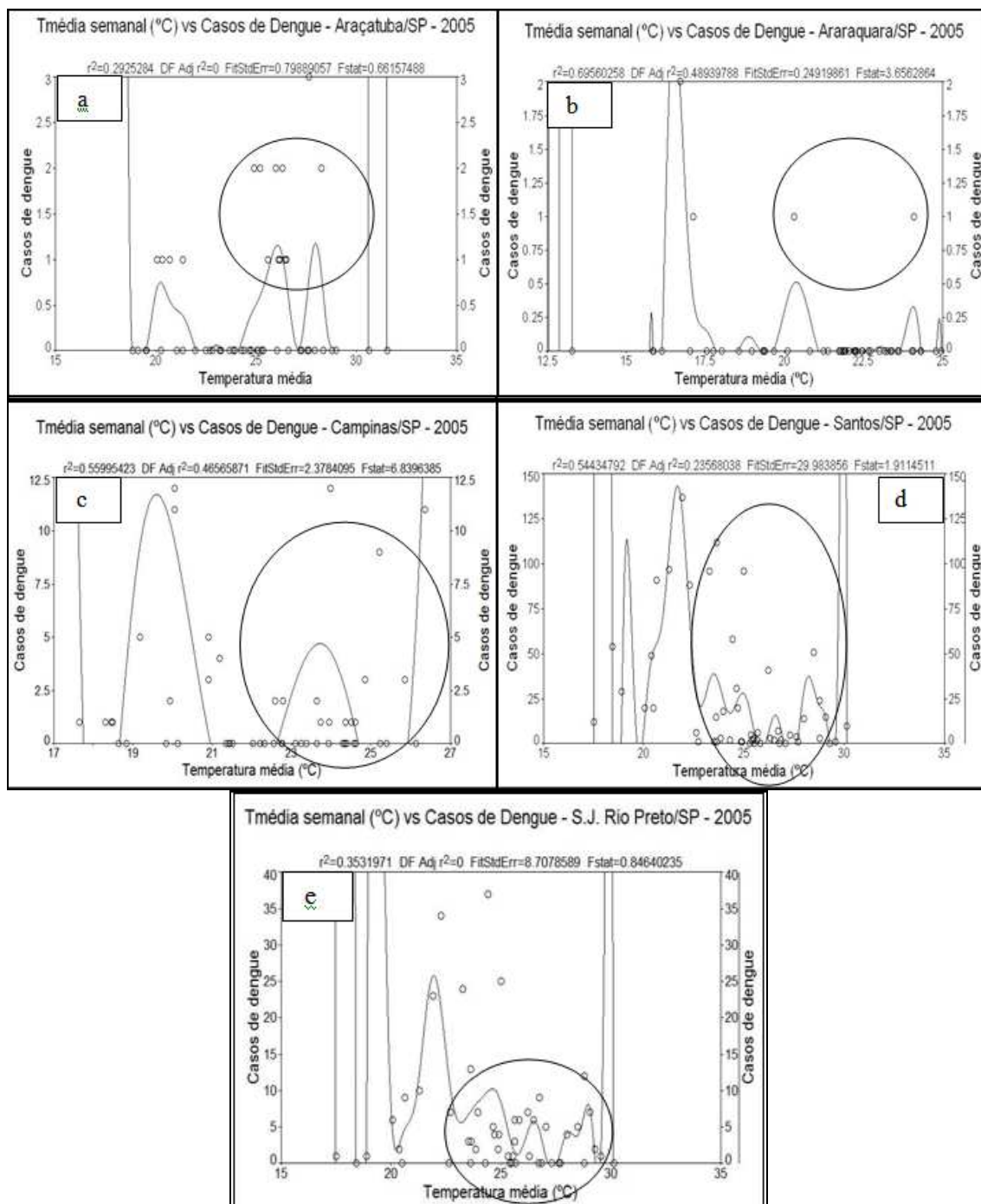
Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

Figura 46 – Casos de dengue versus temperatura média semanal para o ano de 2003.



Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

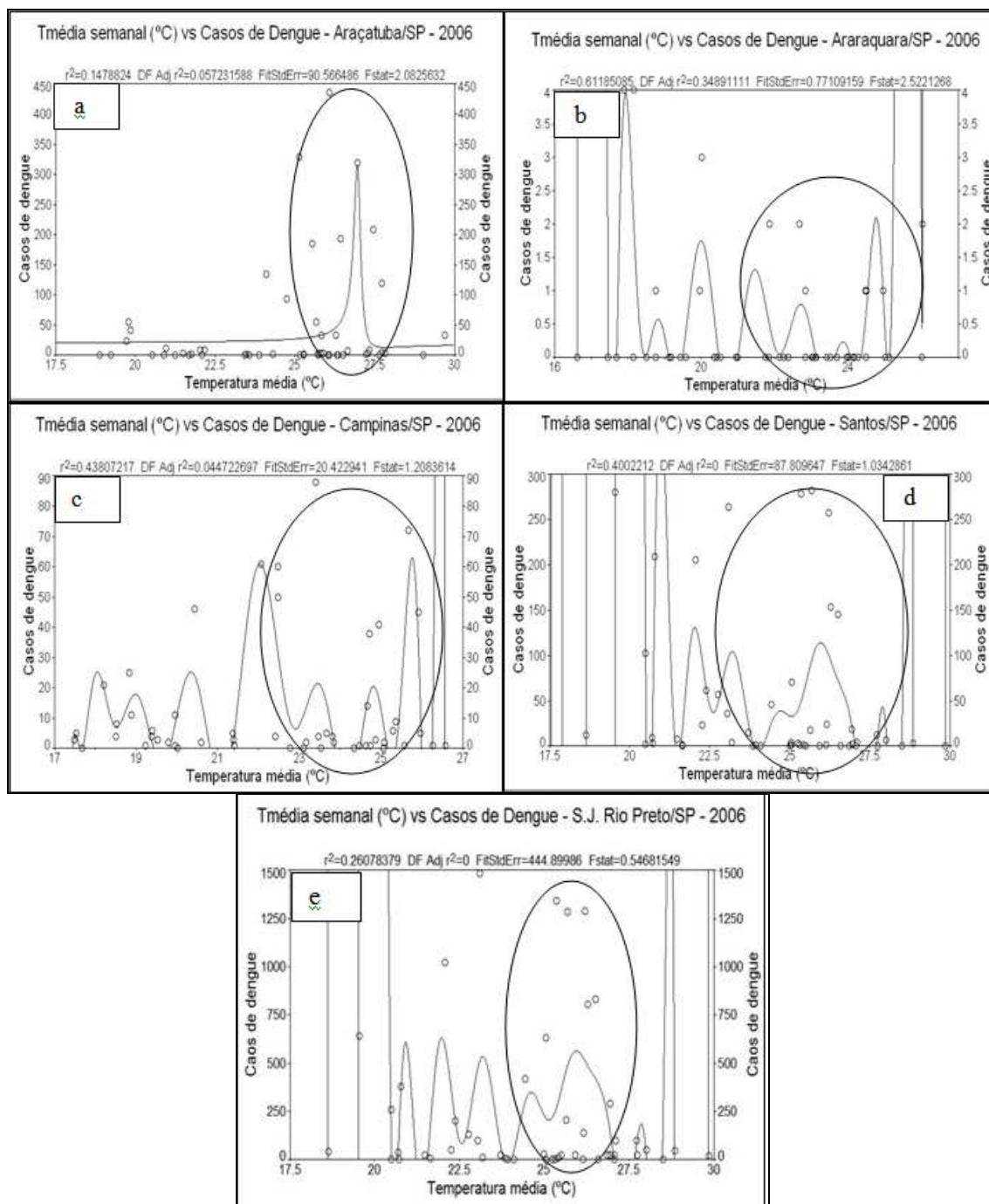
Figura 47 – Casos de dengue versus temperatura média semanal para o ano de 2004.



Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

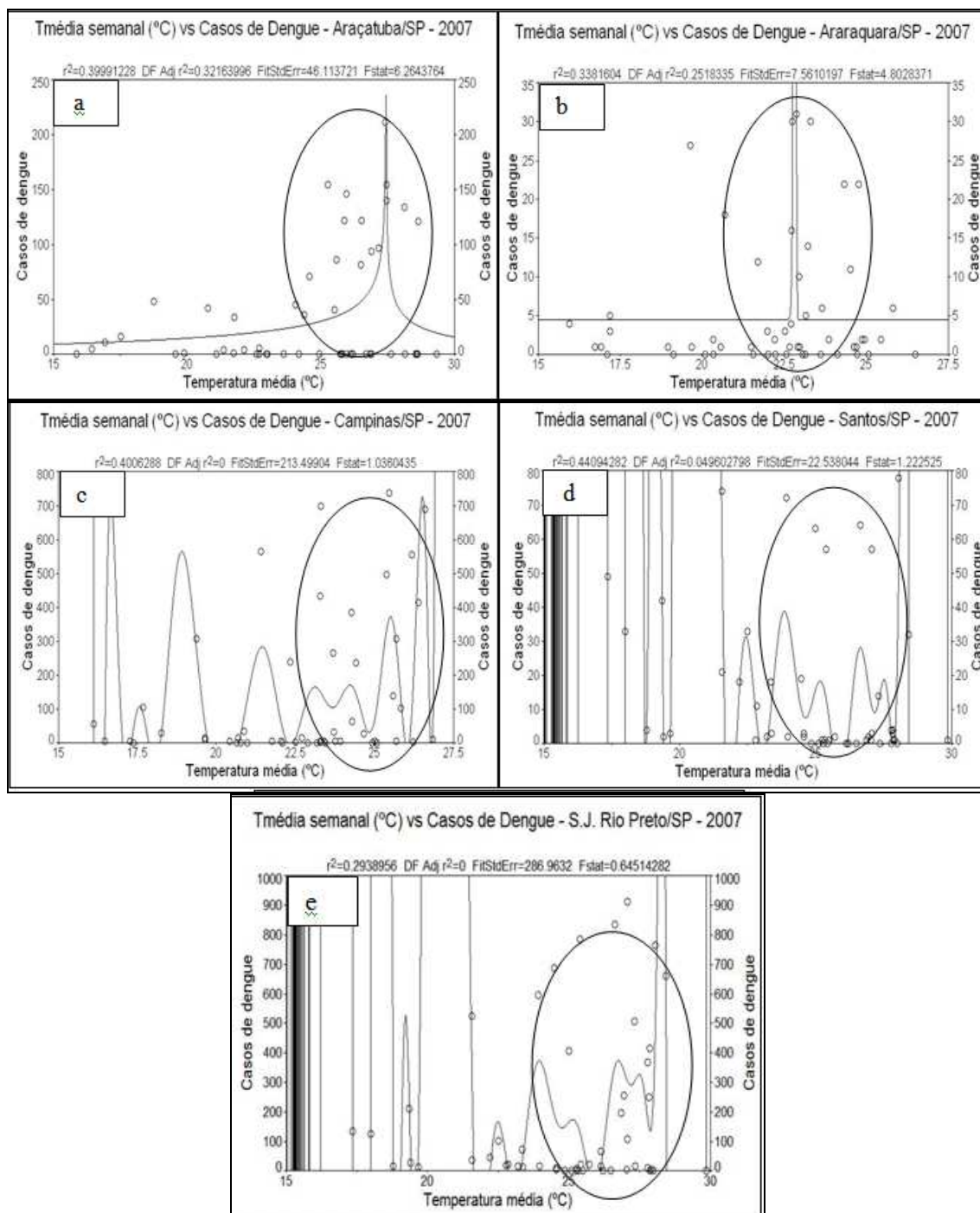
Figura 48 – Casos de dengue versus temperatura média semanal para o ano de 2005.

Os anos de 2006 (Figura 49) e 2007 (Figura 50) foram marcados por um acentuado crescimento dos casos de dengue em todos os municípios estudados, embora não exista uma caracterização evidente de mudanças no clima. Pode-se detectar que o município de Santos (Figura 49d e 50d) é o que apresentou o maior espalhamento entre os casos de dengue, pois observa-se a ocorrência de dengue com valores de temperatura abaixo de 20°C. As figuras citadas confirmam que o maior número de casos de dengue ocorreu com as temperaturas médias superiores a 25°C e valores de precipitação semanal menor que 50 mm.



Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

Figura 49 – Casos de dengue versus temperatura média semanal para o ano de 2006.



Legenda: a – Araçatuba; b – Araraquara; c – Campinas; d – Santos; e – São José do Rio Preto.

Figura 50 – Casos de dengue versus temperatura média para o ano de 2007.

4.3. Simulação da relação entre as variáveis meteorológicas e os casos de dengue utilizando redes neurais

A Figura 51 (a, b, c, d, e) mostra o resultado da simulação da RNA para as cinco cidades estudadas comparando com os dados reais. Em todos os casos, a RNA conseguiu reproduzir o padrão dos casos com bastante eficácia. Para o município de Araraquara-SP (Figura 51b), a qualidade na simulação pode ser entendida pelo fato desse município não apresentar muitos casos da doença ao longo do período estudado, fato de existirem poucos casos durante o período fez com que a RNA apresentasse, inclusive, casos negativos nas primeiras semanas de simulação.

O município cuja RNA apresentou a melhor acurácia foi Campinas-SP (Figura 51c). Após essa percepção, os padrões adotados pela rede para essa cidade foram utilizados para as demais cidades.

Analisando os resultados apresentados na Figura 52, chega-se à conclusão de que os dados de variáveis meteorológicas não são suficientes para que a RNA simule os casos de dengue com eficiência, ou seja, a rede não consegue ser treinada; em nenhum dos municípios foram encontrados resultados satisfatórios.

Em todos os gráficos percebe-se que a RNA subestima o comportamento dos casos de dengue. A única simulação que seguiu algum padrão dos casos de dengue foi aquela representada pela Figura 52a, para o município de Araçatuba. Na referida figura percebe-se que a RNA consegue acompanhar, mesmo que com pouca precisão, o aumento dos casos de dengue próximo às semanas 275 e 326.

Os resultados, representados na Figura 53 mostram que, ao inserir na RNA os dados de dengue e os dados das variáveis meteorológicas, conjuntamente, o modelo não apresenta a mesma acurácia mostrada durante a simulação usando apenas os casos de dengue. Isso se deve ao fato da RNA não ter conseguido encontrar padrões para simulação das variáveis meteorológicas.

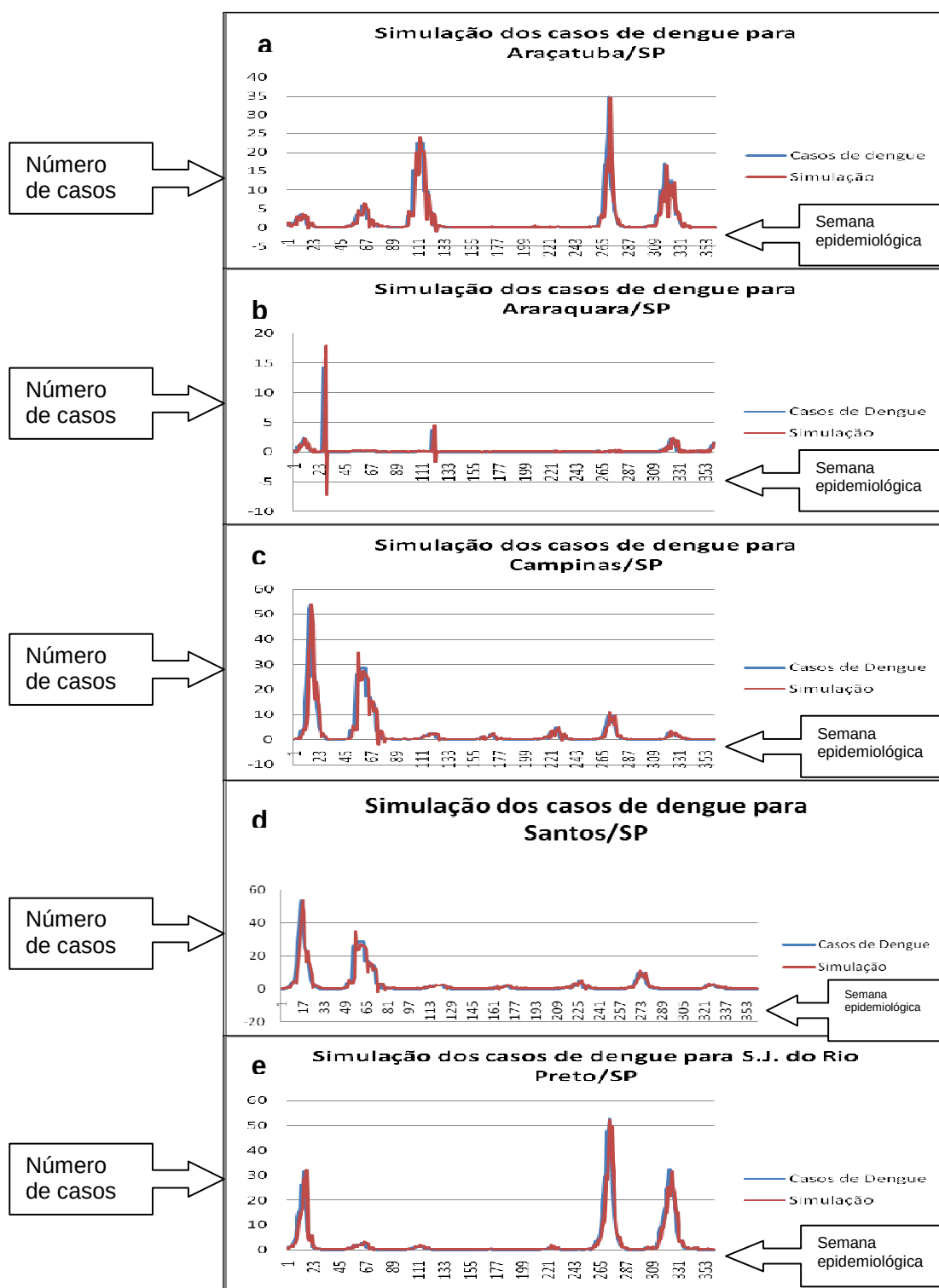


Figura 51 – Simulação dos casos de dengue para os municípios estudados, no período de 2001 a 2007.

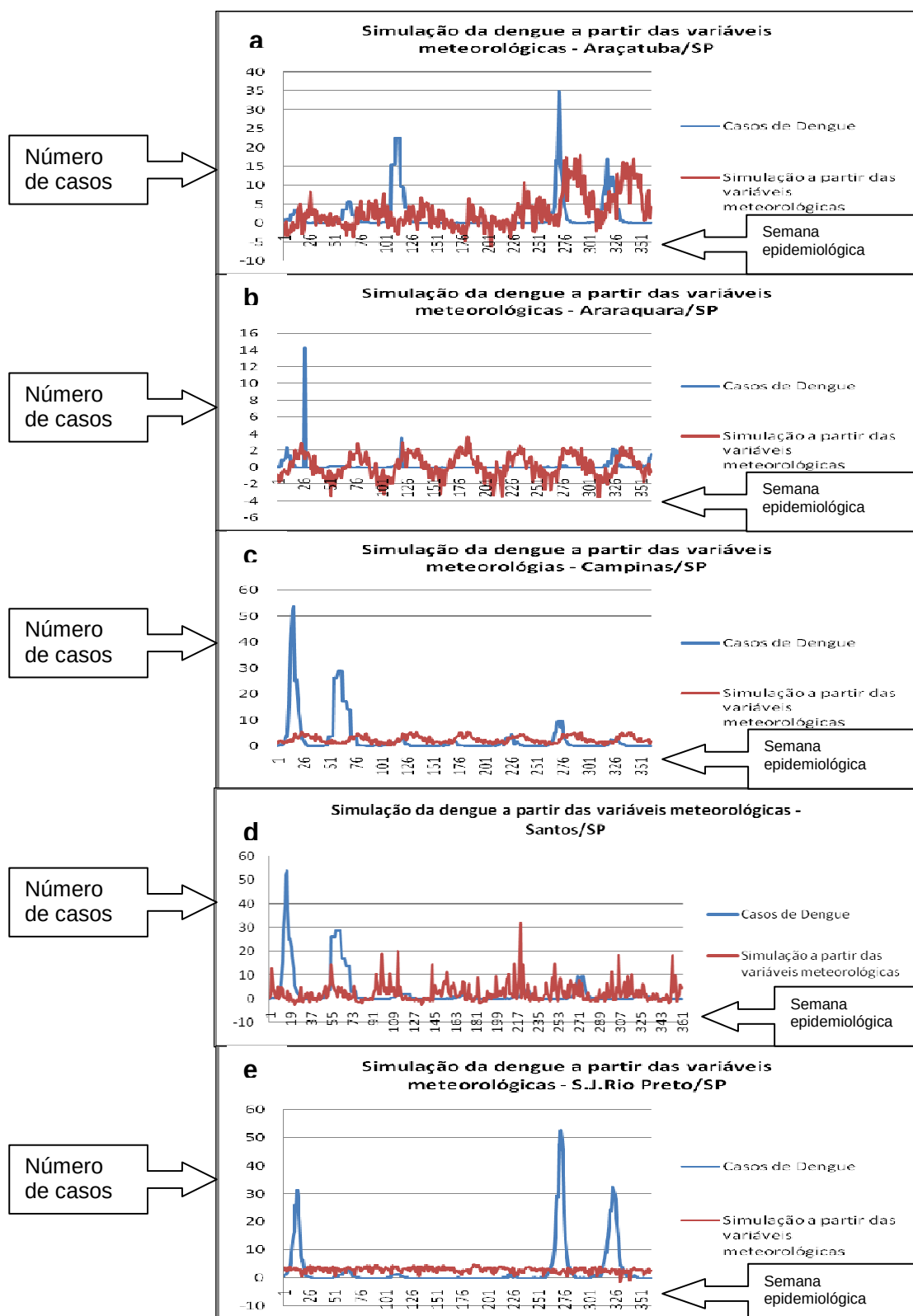


Figura 52 – Simulação da dengue a partir das variáveis meteorológicas, no período de 2001 a 2007 (365 semanas epidemiológicas).

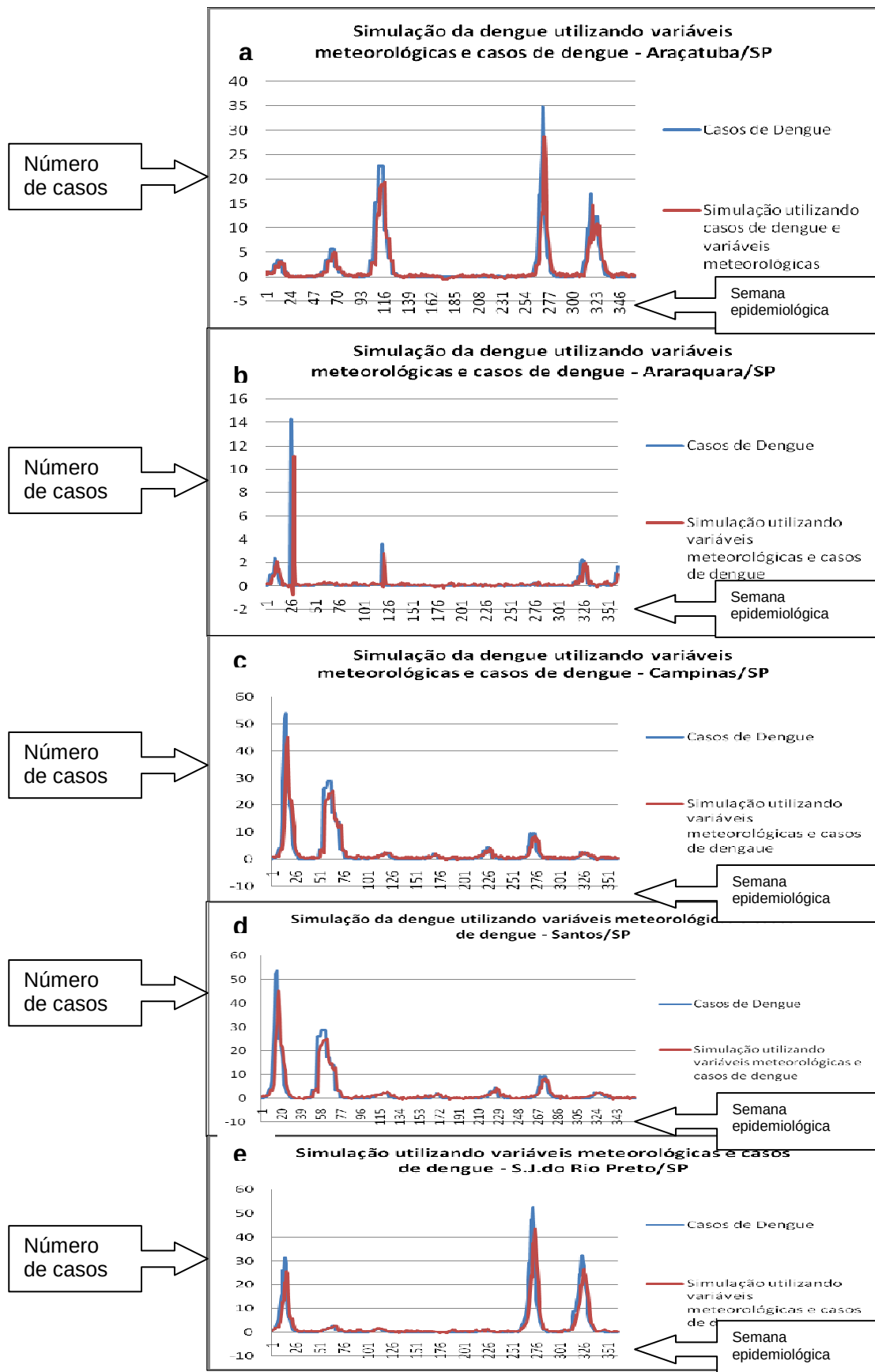


Figura 53 – Simulação dos casos de dengue utilizando variáveis meteorológicas e casos de dengue para os municípios estudados, no período de 2001 a 2007.

Mais uma vez, a melhor simulação ocorreu para o município de Campinas-SP. Dessa forma, voltamos a utilizar a RNA desse município para simular os outros quatro, o que acabou por melhorar os resultados dos mesmos.

Para Araçatuba-SP (Figura 53a), a RNA conseguiu acompanhar os picos dos casos de dengue nos períodos compreendidos entre as semanas 95 e 116, 250 e 285 e 306 a 325. No caso de Araraquara-SP (Figura 54b), a pequena incidência de dengue não impediu a RNA de conseguir simular os picos nos casos da doença, identificados no período entre a semana 1 e 21 (maior incidência para esse município) e conseguiu, também, de forma eficiente, captar outros dois pequenos picos entre os dias 115 e 120 e 323 a 330.

Para o município de Campinas-SP (Figura 53c), a RNA seguiu o padrão dos casos reais de forma bastante eficiente, identificando todos os grandes picos (período entre a semana 1 e semana 30, período entre dia 55 e 80 e período entre 267 e 290) além de captar também períodos menores de incidência da dengue. Para o município de Santos-SP, a eficiência foi a mesma de Campinas, com todos os picos sendo satisfatoriamente identificados pela simulação da RNA.

Para o município de São José do Rio Preto-SP (Figura 53e), a doença atingiu três grandes picos de incidência (entre as semanas 1 e 25, entre as semanas 250 e 285 e entre as semanas 310 e 340). Todos esses grandes picos foram captados pela simulação da RNA de forma bastante satisfatória, a exemplo dos municípios anteriores.

5. CONCLUSÕES

A análise estatística da relação entre variáveis meteorológicas, como precipitação semanal e temperatura com a ocorrência de dengue nos cinco municípios do Estado de São Paulo, que foram objeto de estudos do presente trabalho indicam que existe uma clara relação entre ambas. Em todos os municípios, no período compreendido entre janeiro de 2001 a dezembro de 2007, os casos da doença aumentaram, na medida em que a temperatura média superou 25°C, com raras exceções. Esse padrão segue os parâmetros de temperatura ótimos para a procriação do vetor, o mosquito *Aedes aegypti* (que gira em torno dos 20 a 30°C), e para a disseminação da doença (que ocorre com temperaturas superiores a 20°C).

Em relação aos níveis de chuva semanal, a maioria dos casos ocorreu quando os índices de chuva ficaram abaixo dos 50 mm semanais, isso porque níveis pluviométricos superiores e esse valor provocam redução dos vetores vivos (derrubada das fêmeas estejam em atividade, atrás em busca do repasto e dos machos que estejam voando em busca da cópula) e limpeza dos recipientes contaminados com ovos do mosquito. Os índices pluviométricos semanais não inibem a proliferação do vetor, mas agem como uma barreira que atrasa a contaminação de pessoas com o vírus da doença.

É importante ressaltar que, apesar da relação entre dengue e variáveis meteorológicas existirem, conforme comprovado na relação estatística, o

comportamento dessas variáveis não são determinantes para a ocorrência de casos ou de epidemias.

A análise estatística se fez necessária para se conhecer o real comportamento dos casos de dengue com as principais características climáticas dos municípios estudados e, dessa forma, ter um embasamento mais concreto para a simulação com as Redes Neurais.

No que diz respeito ao uso das Redes Neurais Artificiais nesse estudo, essa ferramenta se mostrou bastante eficiente na simulação dos casos de dengue nos municípios em estudo. A simulação dos casos de dengue no período compreendido entre os anos de 2001 a 2007 seguiu de forma satisfatória o padrão real da doença em todos eles.

A simulação utilizando apenas as variáveis meteorológicas já não foi tão interessante para o estudo, pois a ferramenta encontrou grandes dificuldades para encontrar padrões entre os dados, já que a rede não consegue ser treinada com apenas os dados meteorológicos.

Na etapa em que foi simulada a dengue a partir da relação entre dengue e variáveis meteorológicas, relação essa comprovada pelas análises estatísticas, os resultados mostram que a RNA não apresenta a mesma acurácia mostrada na simulação a partir dos casos de dengue. Apesar de a rede ter conseguido encontrar um padrão na relação entre os dados e simular de maneira satisfatória a dengue para todos os municípios, a queda na qualidade dos resultados do modelo indicam que a inclusão das variáveis meteorológicas diluem a capacidade de aprendizagem da RNA.

O presente trabalho não busca, de maneira nenhuma, se tornar definitivo no que se trata do estudo da relação entre clima e dengue para o Brasil utilizando como ferramentas estudos estatísticos e redes neurais.

Pode-se supor que, devido ao agravamento do efeito estufa, regiões que possuem médias de temperatura abaixo dos 20° a 30°C podem, em condições de aquecimento, passar a fazer parte da faixa ótima para o desenvolvimento do vetor, atraí-lo e, conseqüentemente, passar a ter casos de dengue nativos.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. **São Paulo**: ensaios entreveros. São Paulo: Edusp, 2004.

AMARAKOON, D.; CHEN, A.; RAWLINS, S.; CHADEE, D.; TAYLOR, M.; STENNET, R. **Dengue epidemics in the Caribbean-temperature indices to gauge the potential for onset of dengue**. Springer Science Business Media, 2007.

BARATA, E.A.M.F.; COSTA, A.I.P., CHIARAVALLOTI NETO, F.; GLASSER, C.M.; BARATA, J.M.S.; NATAL, D. População de *Aedes aegypti* (L.) em área endêmica de dengue. Sudeste do Brasil. **Revista Saúde Pública**, v. 35, n. 3, p. 237-242, 2001.

BARRETO, J.M. Introdução às redes neurais artificiais. In: ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA DA SBC REGIONAL SUL, 5, 1997. **Anais...** 1997. p. 41-71.

BRAGA, A.P.; LUDEMIR, T.B.; CARVALHO, A.C.P.L.F. **Redes neurais artificiais**: teorias e aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

CENTRO DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – CVE-SP. **Homepage**. Disponível em: <www.cve.saude.sp.gov.br/>. Acesso em: 2008.

CONFALONIERI, U.E.C.; MENNE, B.; AKTHAR, R.; EBI, K.L.; HAUENGUE, M.; KOVATS, R.S.; REVICH, B.; WOODWARD, A. Human health. In: PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P.; VAN DER LINDEN, P.J.; HANSIN, C.E. (Eds.). **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability**. Contribution of working group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

CONSOLI, R.A.G.B.; OLIVEIRA, R.L. **Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 1994.

FORATTINI, O.P. Identificação de *Aedes (Stegomyia) albopictus* no Brasil. **Revista Saúde Pública**, v. 20, p. 244-245, 1986.

FULLER, D.O.; TROYO, A.; BEIER, J.C. El niño southern oscillation and vegetation dynamics as predictors of dengue fever cases in Costa Rica. **Environmental Research Letters**, 2008

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. Ministério da Saúde. **Vigilância epidemiológica**. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br>>. Acesso em: 2008.

GLASSER, C.M.; GOMES, A.C. Clima e sobreposição da distribuição de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* na infestação do estado de São Paulo. **Revista Saúde Pública**, v. 36, p. 166-172, 2002.

GLUBBER, D.J. Dengue and dengue hemorrhagic fever. **Clinical Microb. Rev.**, v. 11, p. 480-496, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Divisão territorial do Brasil e limites territoriais**. Disponível em: <www.ibge.com.br>. Acesso em: 11 out. 2008.

MacDONALD, W.W. *Aedes aegypti* in Malaya II, larval and adult biology. **Ann. Trop. Med. Parasitol.**, v. 50, p. 300-414, 1958.

MARINHO, D.; CONFALONIERI, U.E.C. **Mudanças climáticas e saúde: perspectivas para o Rio de Janeiro**. Disponível em: <www.rio.rj.gov.br/ipp>. Acesso em: 2007.

PATZ, J.A.; MARTENS, W.J.M.; FOCKS, D.A.; JETTEN, T.H. Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change. **Environ. Health Perspect.**, v. 106, p. 147-153, 1998.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/smsa/montapagina.php?pagina=bhdengue/vigilancia.htm>>. Acesso em: 28 set. 2009.

RAI, K.S. *Aedes albopictus* in the Americas. **Ann. Rev. Entomol.**, v. 36, p. 459-484, 1991.

REITER, P. Climate change and mosquito-borne disease. **Enviroment. Health Perspectives**, v. 109, supplement 1, 2001.

RUEDA, L.M.; PATEL, K.L.; AXTELL, R.C.; STINNER, R.E. Temperature dependent development and survival rates of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti*. **J. Med. Entomol.**, 1990.

RUMELHART, D.E.; HILTON, D.G.E.; WILLIAMS, R.J. Learning representations by back propagation error. **Nature**, 1986.

SCHREIBER, K.V. A investigation of relationships between climate and dengue using a water budgeting technique. **Int. J. Biometeology**, v. 45, p. 81-89, 2001.

SCHULTZ, G.W. Seasonal abundance of dengue vectors in Manila, Republic of the Philippines. **SE Asian J. Trop. Med. Public. Health**, v. 24, p. 369-375, 1993.

SILVA, A.F. **Previsão de evapotranspiração de referência utilizando redes neurais**. 2002. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SUWWAN, L. 65% das cidades tem focos do mosquito. **Jornal Folha de São Paulo**, 21 abr. 2001.

TAKAHASHI, L.T. **Modelos matemáticos de epidemiologia com vetores: simulação de propagação urbana e geográfica da dengue**. 2004. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.