

Comitê de Mudança do Clima e Ecoeconomia
UMAPAZ

Mudanças climáticas e arboviroses transmitidas pelo *Aedes aegypti*: há uma relação causal?

Eduardo de Masi

Biólogo – Analista em Saúde IX

Doutor em Ciências

Mestre em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio

São Paulo – SP
19 de fevereiro de 2019

INTRODUÇÃO

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Fenômenos Naturais

décadas a bilhões de anos

Causas Naturais

Erupções
vulcânicas

Correntes
oceânicas

Alterações
da órbita
da Terra

Oscilações
solares

Causas Humanas

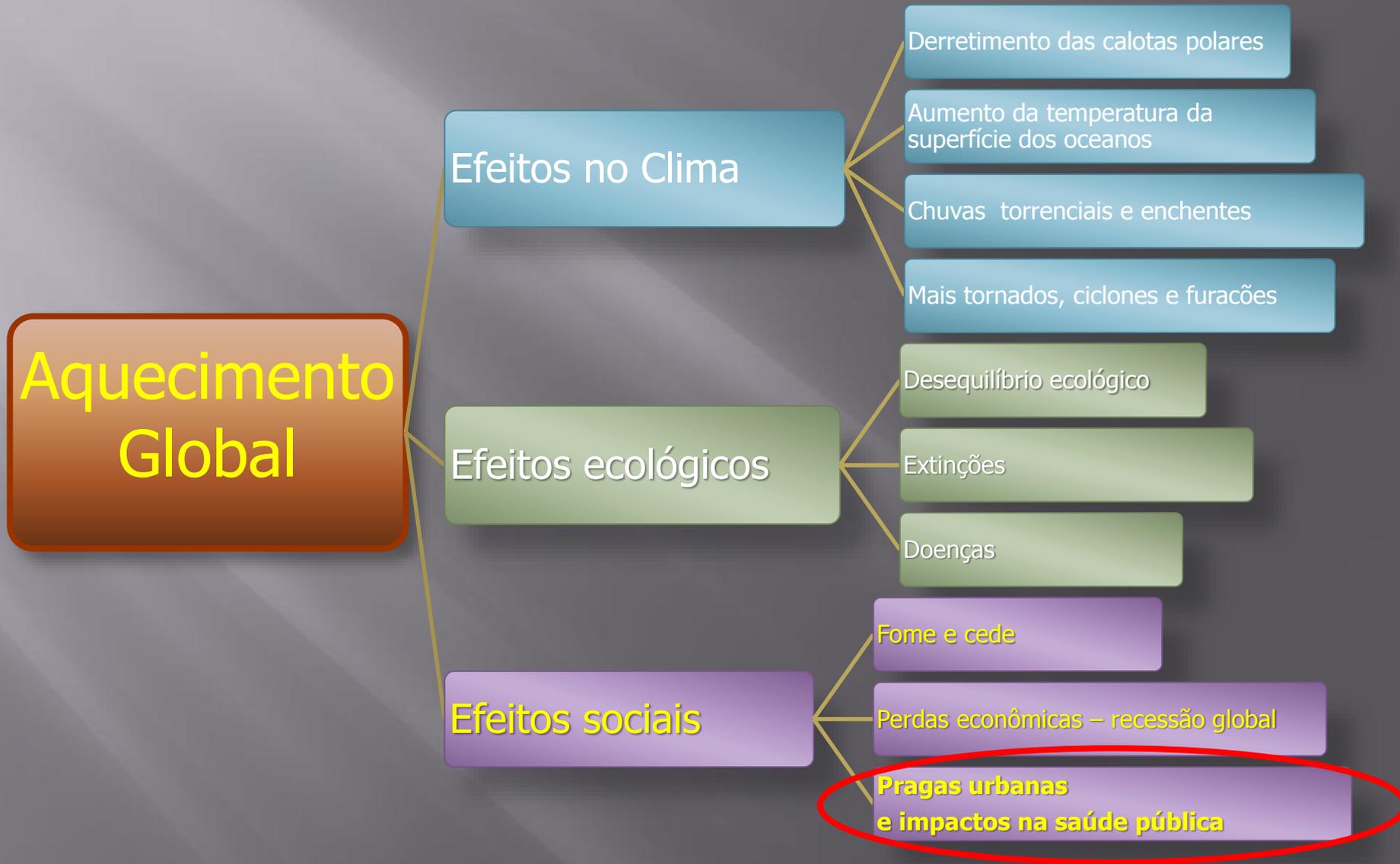
Gases de
efeito
estufa

Uso de combustíveis
fósseis

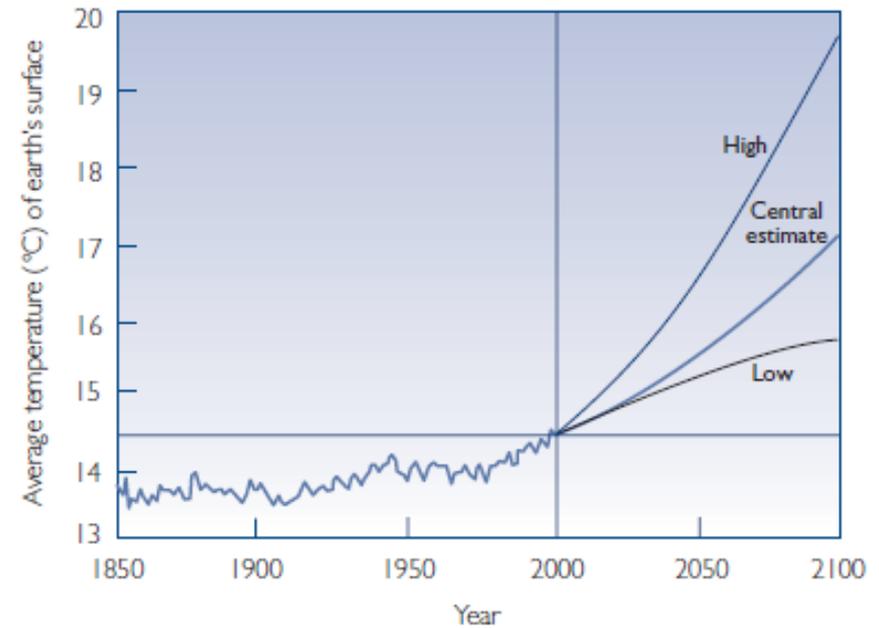
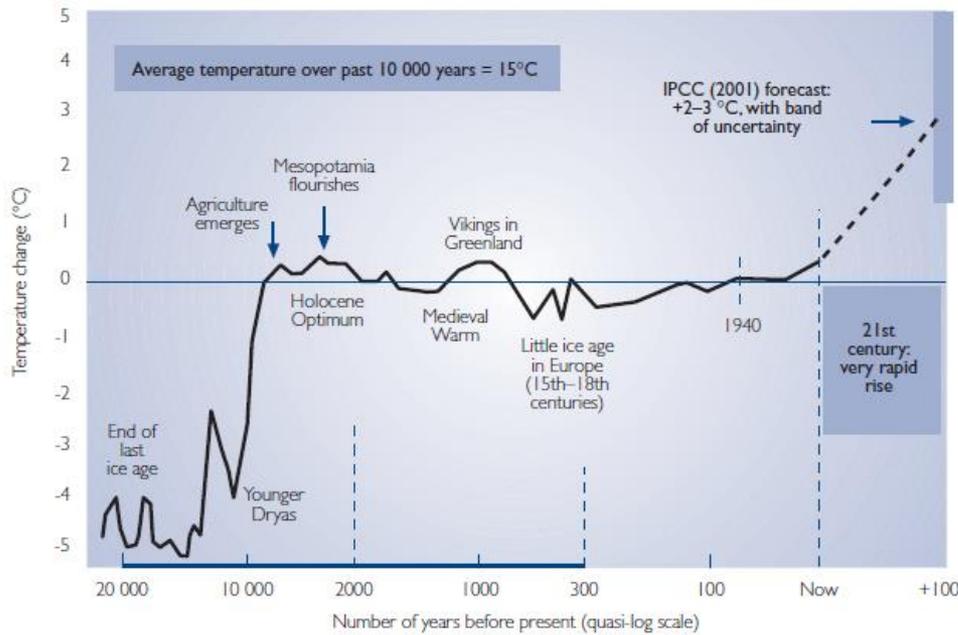
Supressão
de
áreas
florestadas

Aquecimento Global

MUDANÇAS CLIMÁTICAS



MUDANÇAS CLIMÁTICAS: PERSPECTIVAS



MUDANÇAS CLIMÁTICAS: PERSPECTIVAS

X. Wu et al. / Environment International 86 (2016) 14–23

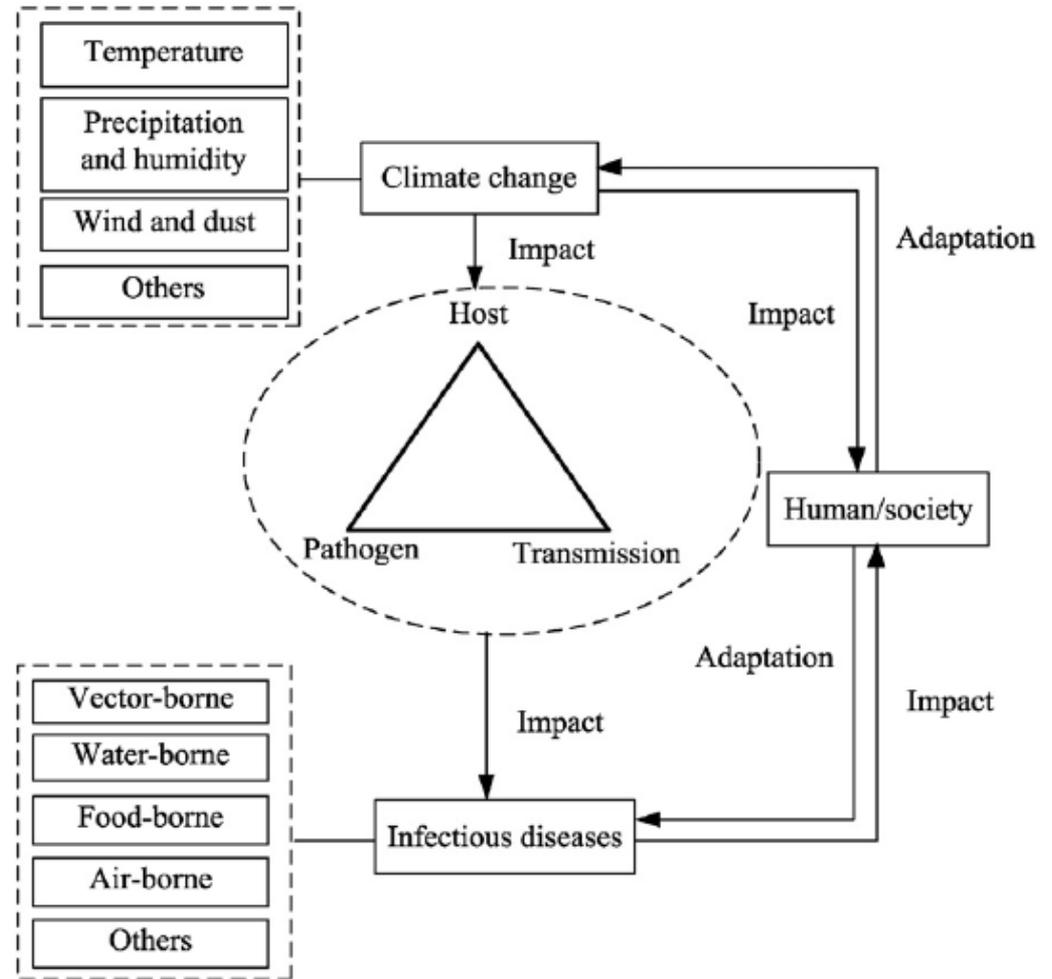
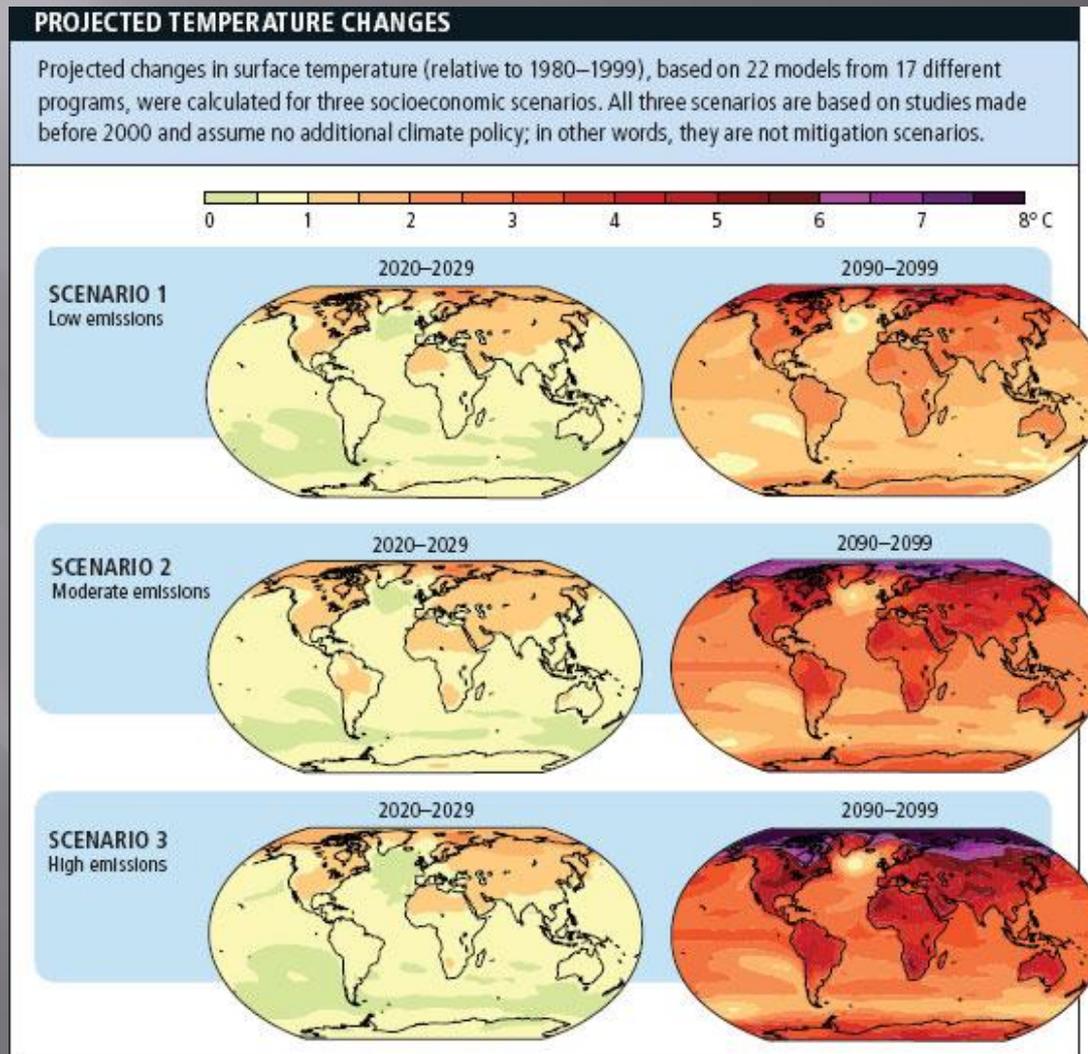


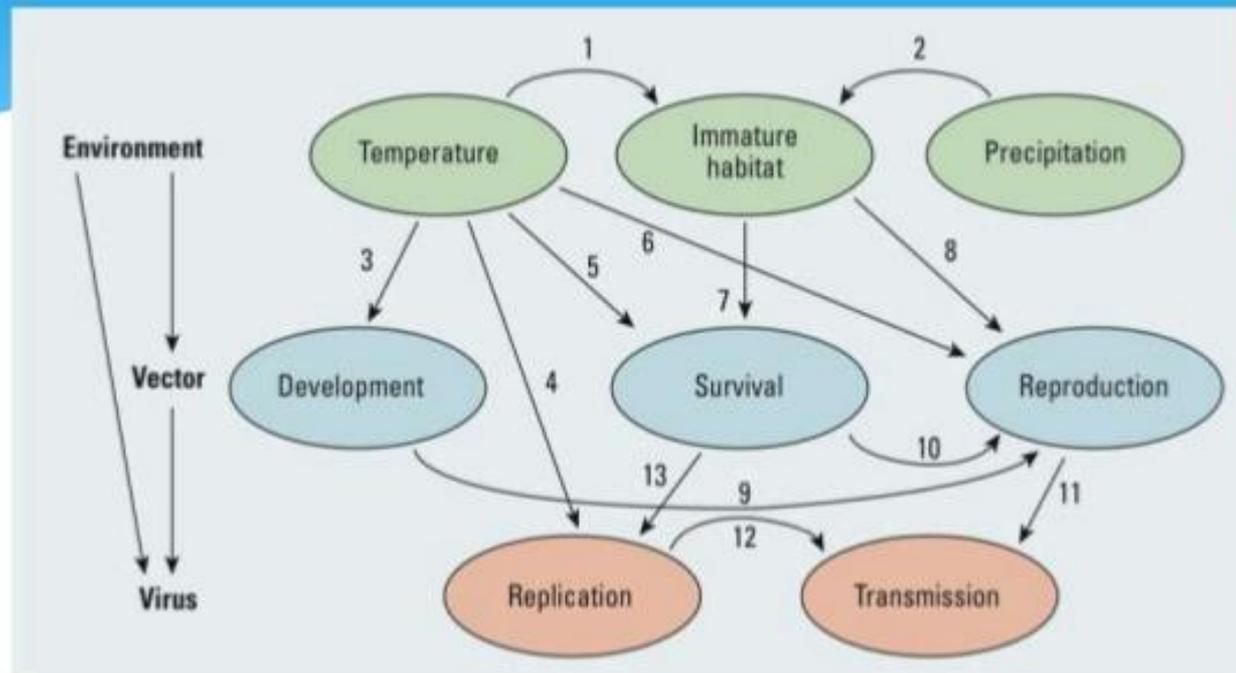
Fig. 1. Climate change, human infectious diseases, and human society.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS: PERSPECTIVAS



MUDANÇAS CLIMÁTICAS: CONSTATAÇÕES

Dengue : ecological relationships

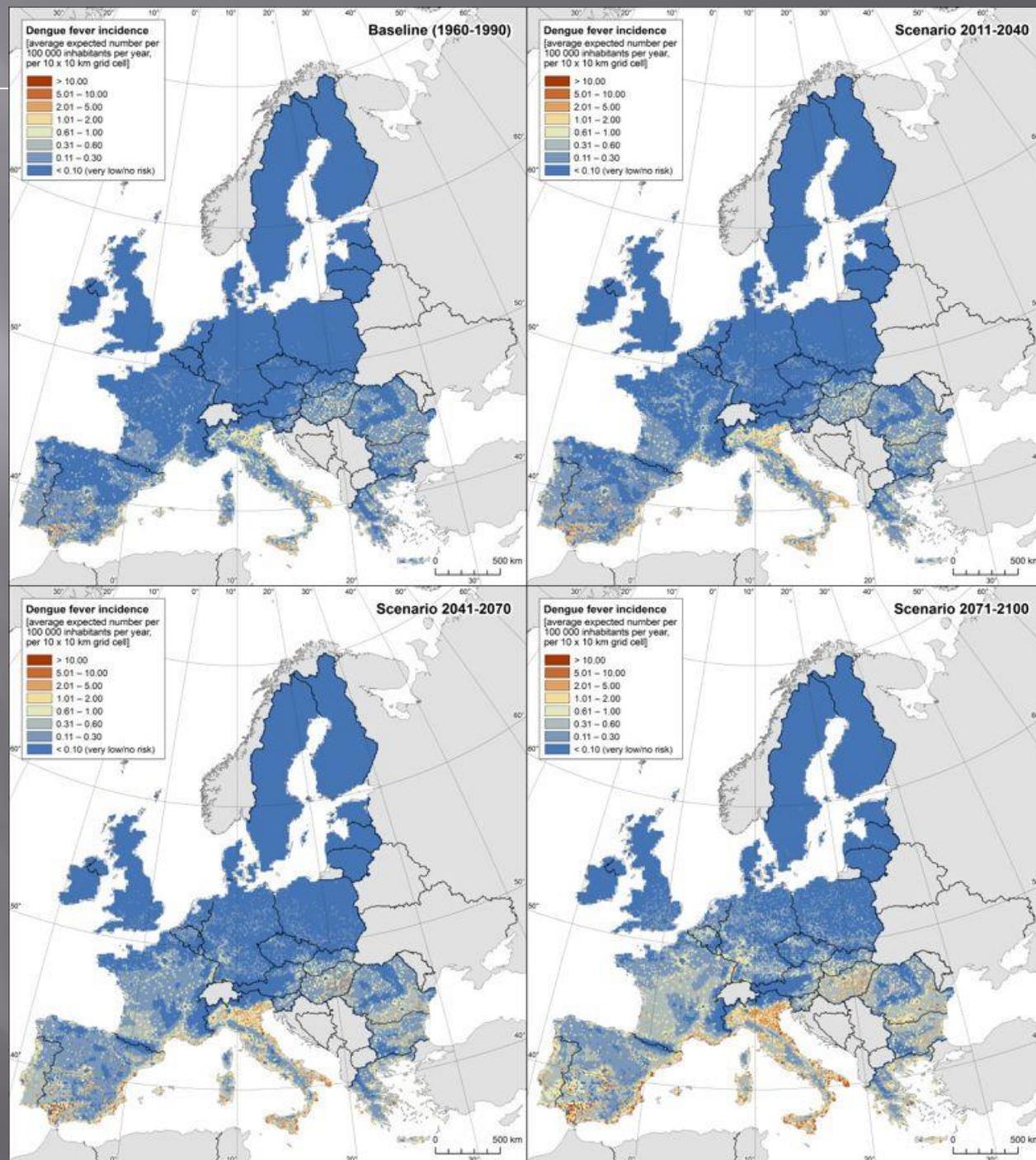


Interactions between climate, vector & virus

(Morin *et al.*, 2013)

Climate change and the emergence of vector-borne diseases in Europe: case study of dengue fever

Dengue fever incidence rate expressed as number of cases per 100 000 inhabitants per year for baseline conditions and climate change scenarios for early, medium and late century. From Bouzid et al., 2014. doi:10.1186/1471-2458-14-781



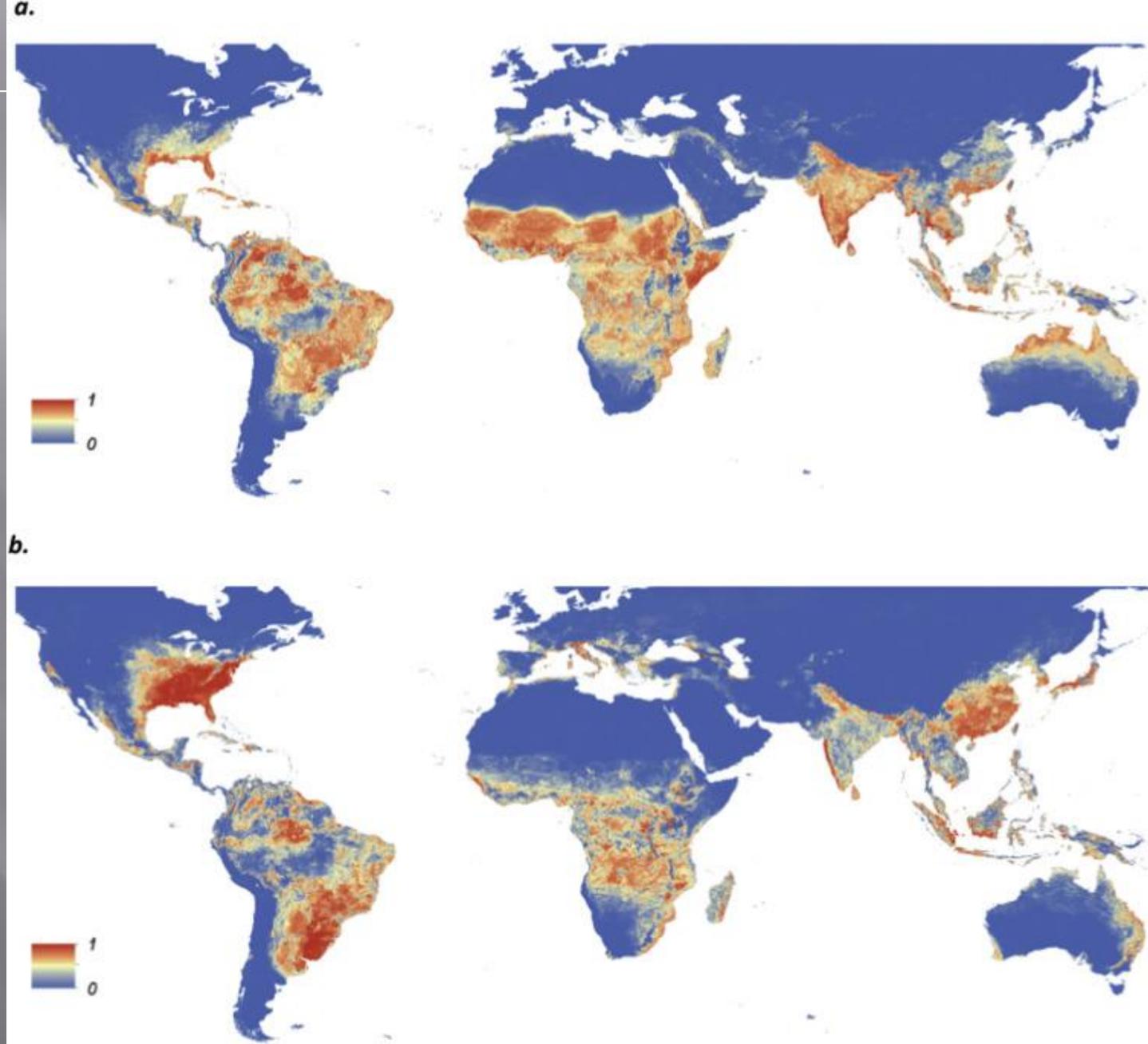


Fig. 1. Global maps of the probability of occurrence of a. *Ae. aegypti* and b. *Ae. albopictus* from 0 (blue) to 1 (red) at a spatial resolution of 5 km by 5 km. Source: Kraemer et al. (2015).

MUDANÇAS CLIM

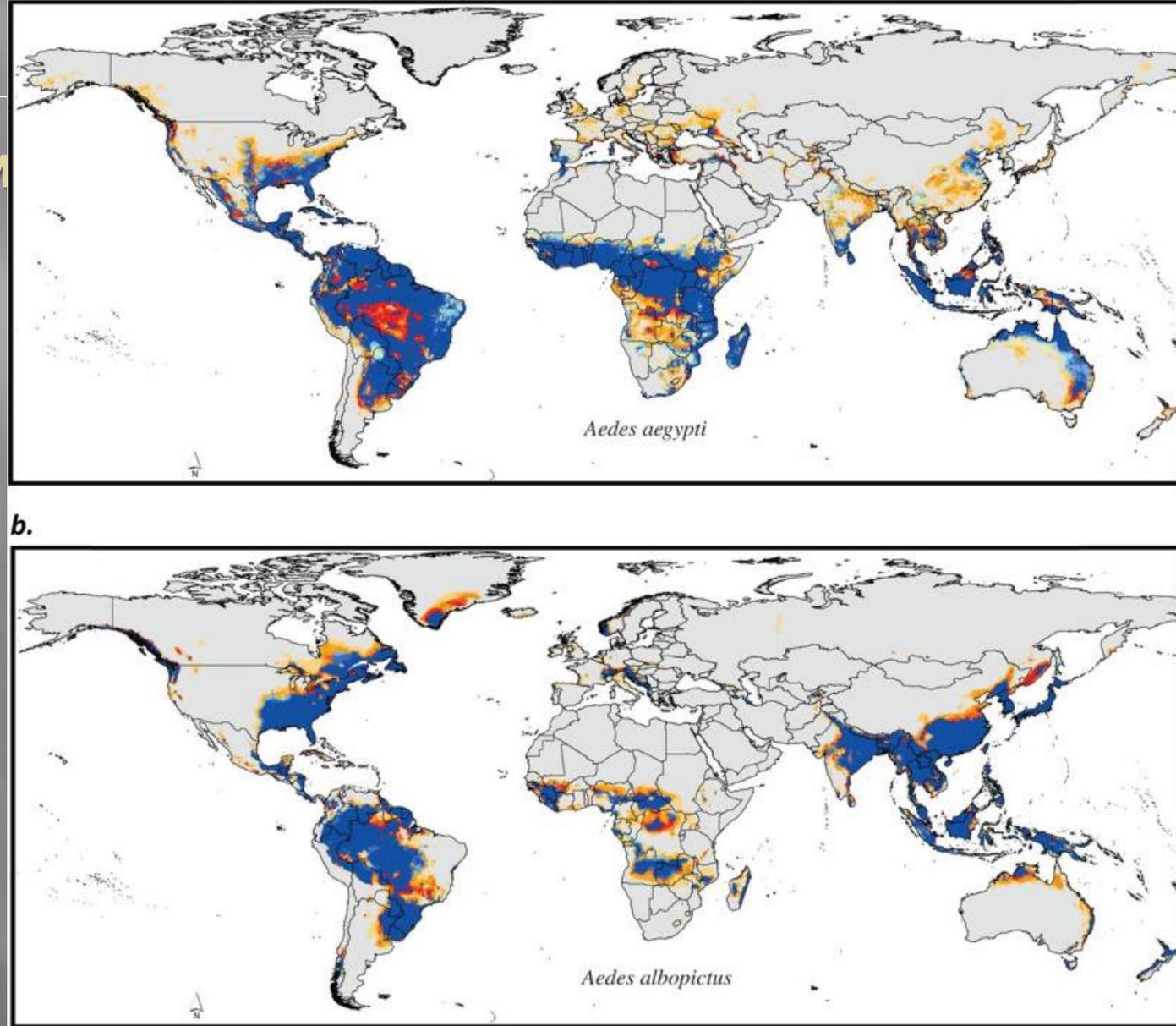


Fig. 4. Potential geographic distribution patterns of a. *Ae. aegypti* and b. *Ae. albopictus* in 2050 under a moderate emissions scenario. Present day only distributional areas are in blue, with model agreement regarding stability of present day distributional areas shown by the intensity of blue shading (light blue denotes low and dark blue denotes high model agreement). Future distributional potential is shown as shades of orange (light orange denotes low and dark orange denotes high model agreement in projecting future suitability). Source: Campbell et al. (2015).

MUDANÇAS CLIMÁTICAS: RESUMO GERAL

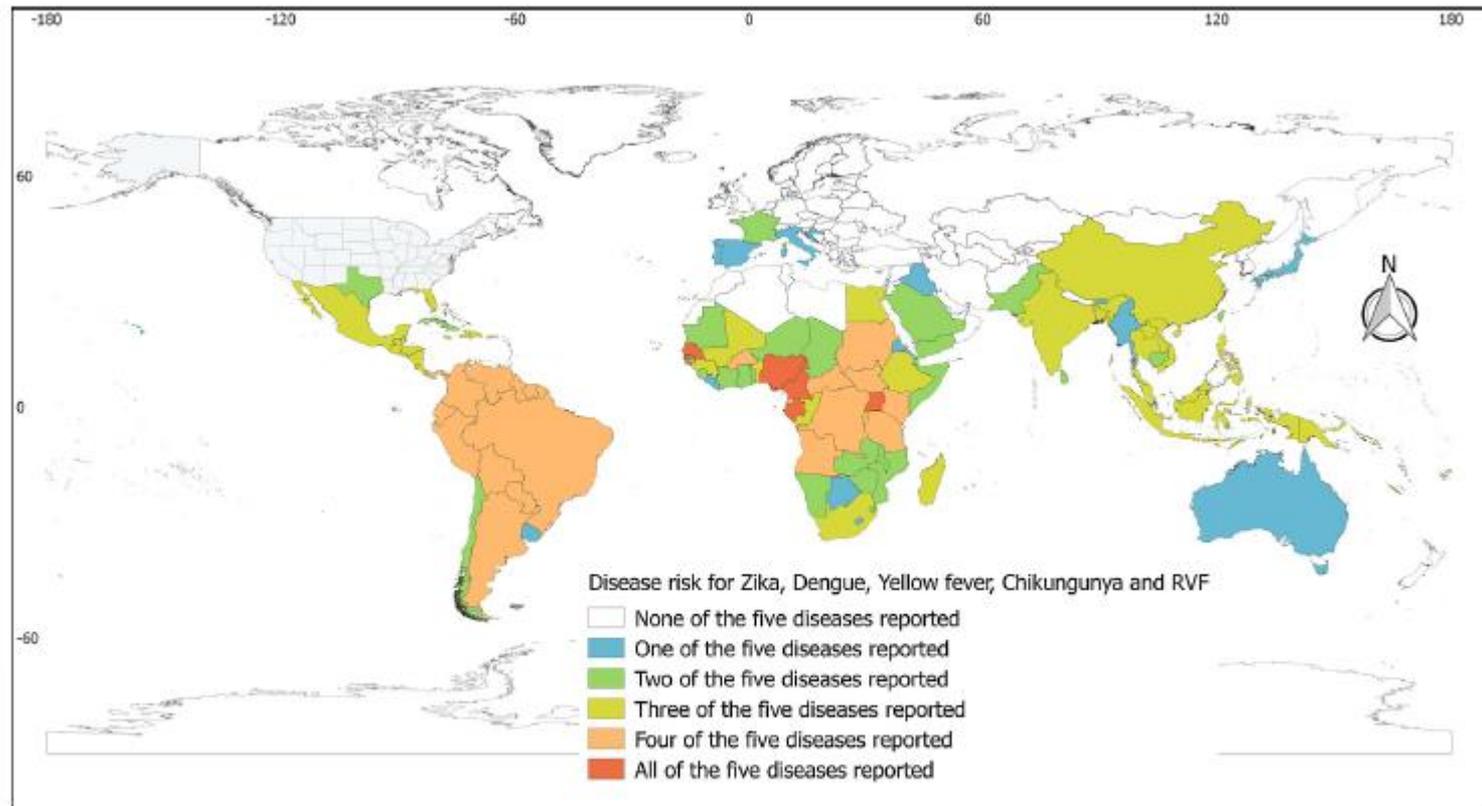


Figure 3. Global country-level occurrences of the selected arboviral diseases. The map depicts the occurrences of selected arboviral diseases from no occurrence, shown in white, to the occurrence of all of the selected arboviral diseases, shown in red.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS: CONSTATAÇÕES

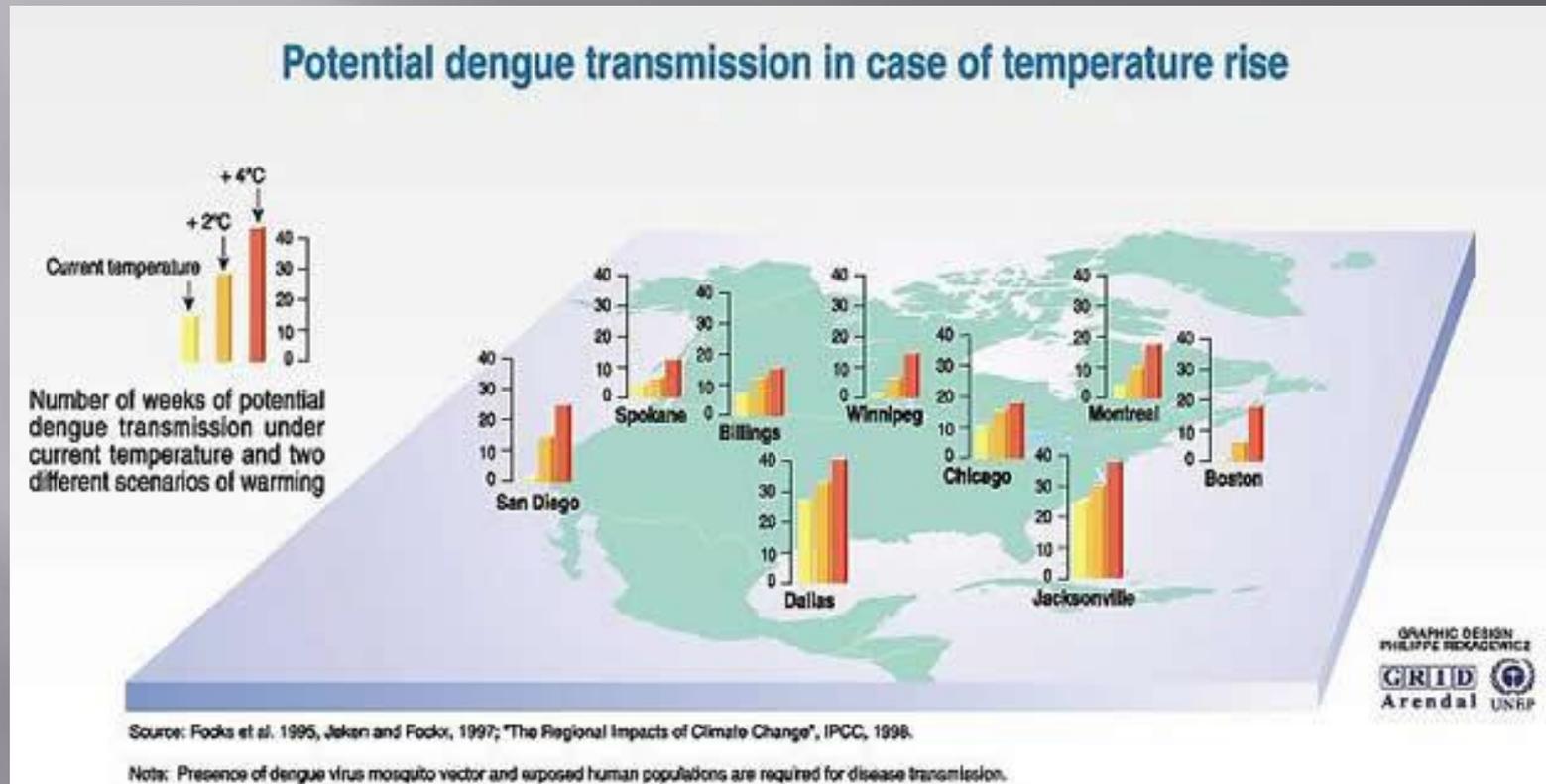
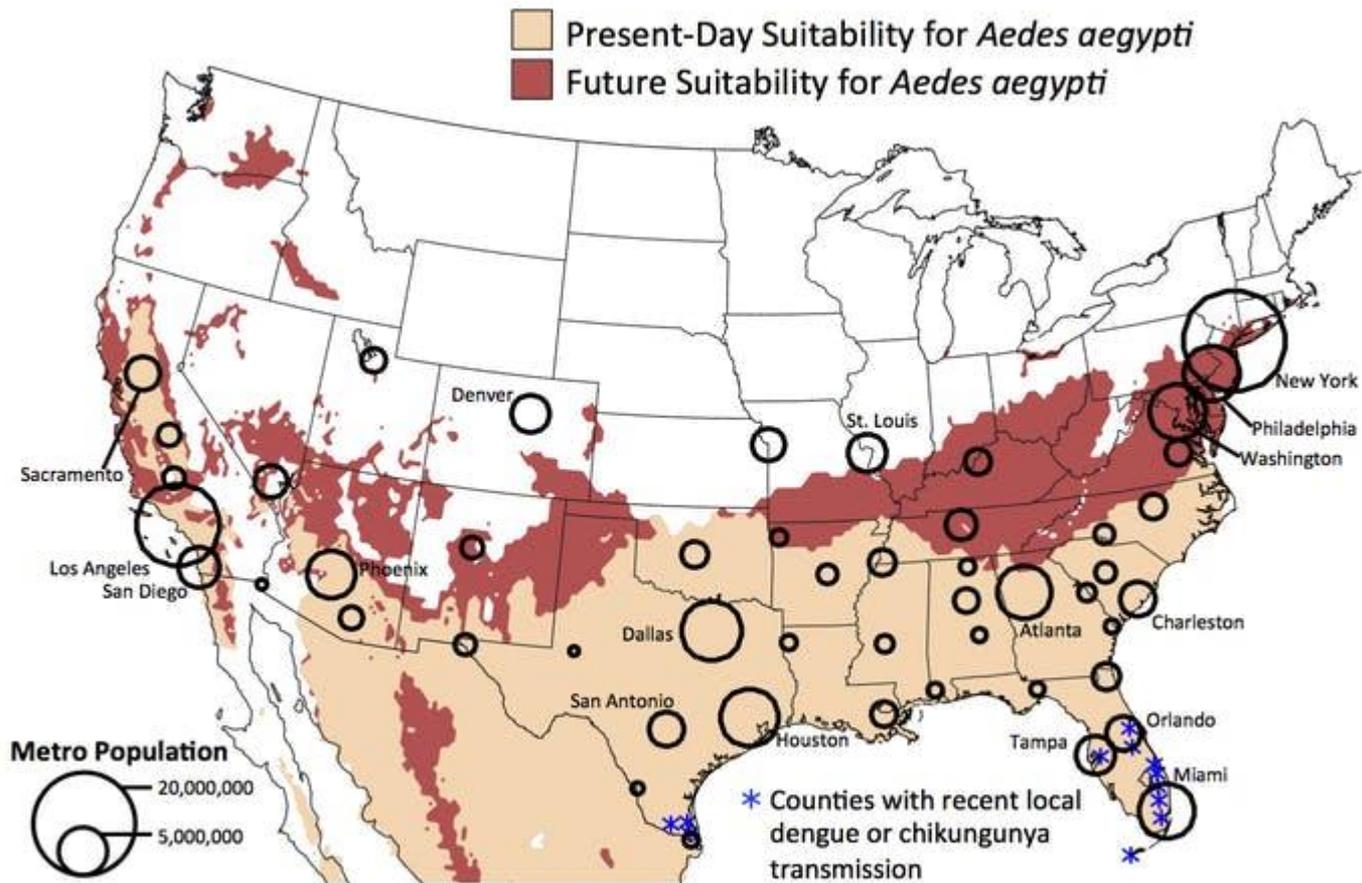


Figure depicts the number of weeks of the year of potential dengue transmission in various North American cities with the current temperature (yellow), with 2°C warming (light orange), and with 4 °C warming (dark orange). *Courtesy of Philippe Rekacewicz, , UNEP/GRID-Arendal*

MUDANÇAS CLIMÁTICAS: PERSPECTIVAS



MUDANÇAS CLIMÁTICAS: CONSTATAÇÕES

46

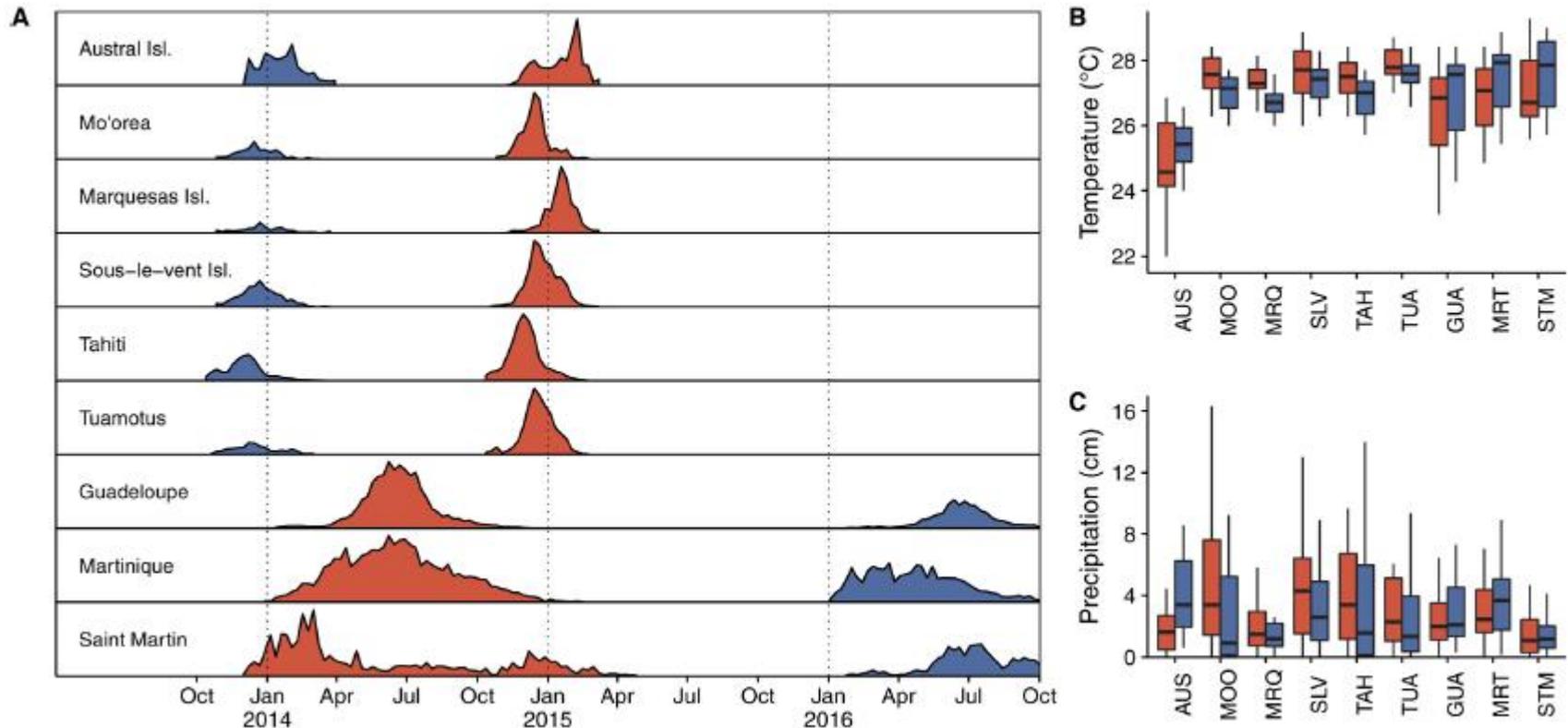
J. Riou et al. / *Epidemics* 19 (2017) 43–52

Fig. 1. (A) Pro files of CHIKV (red) and ZIKV (blue) outbreaks in the nine territories under study (each row is scaled independently to its maximum). (B) and (C) Distributions of weekly mean temperatures (in °C) and precipitation (in cm) during the corresponding epidemic periods. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of the article.)

ESTUDOS DE CASO

**ESTUDO DA RELAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR COM
A OCORRÊNCIA DE DENGUE EM SÃO PAULO**



The Brazilian Journal of
INFECTIOUS DISEASES

www.elsevier.com/locate/bjid



Original article

São Paulo urban heat islands have a higher incidence of dengue than other urban areas



Ricardo Vieira Araujo^{a,*}, Marcos Roberto Albertini^b, André Luis Costa-da-Silva^{c,d},
Lincoln Suesdek^{c,e}, Nathália Cristina Soares Franceschi^b, Nancy Marçal Bastos^b,
Gizelda Katz^b, Vivian Ailt Cardoso^b, Bronislawa Ciotek Castro^b,
Margareth Lara Capurro^{c,d}, Vera Lúcia Anacleto Cardoso Allegro^b

^a Ministério da Ciência, Tecnologia & Inovação, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília, DF, Brazil

^b Gerência de Vigilância de Saúde Ambiental Coordenação de Vigilância em Saúde SMS/PMSP, São Paulo, SP, Brazil

^c Departamento de Parasitologia, Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brazil

^d Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Entomologia Molecular, INCT-EM, Rio de Janeiro, RJ, Brazil

^e Instituto Butantan, Laboratório Parasitologia, São Paulo, SP, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 June 2014

Accepted 16 October 2014

Available online 15 December 2014

Keywords:

Urban heat islands

Land surface temperature

Vegetation cover

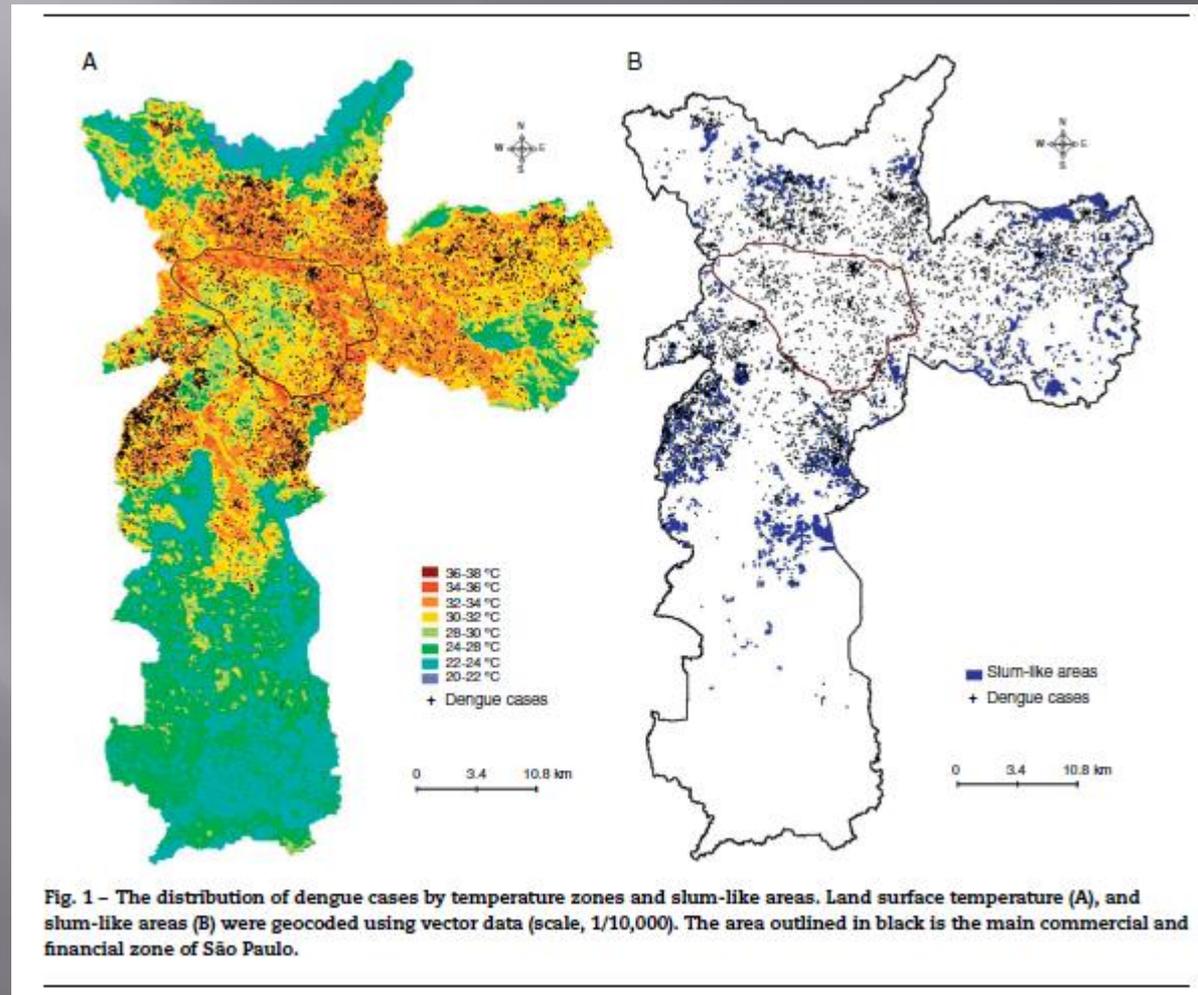
Dengue

Aedes aegypti

ABSTRACT

Urban heat islands are characterized by high land surface temperature, low humidity, and poor vegetation, and considered to favor the transmission of the mosquito-borne dengue fever that is transmitted by the *Aedes aegypti* mosquito. We analyzed the recorded dengue incidence in Sao Paulo city, Brazil, in 2010–2011, in terms of multiple environmental and socioeconomic variables. Geographical information systems, thermal remote sensing images, and census data were used to classify city areas according to land surface temperature, vegetation cover, population density, socioeconomic status, and housing standards. Of the 7415 dengue cases, a majority (93.1%) mapped to areas with land surface temperature >28 °C. The dengue incidence rate (cases per 100,000 inhabitants) was low (3.2 cases) in high vegetation cover areas, but high (72.3 cases) in low vegetation cover areas where the land surface temperature was 29 ± 2 °C. Interestingly, a multiple cluster analysis phenogram showed more dengue cases clustered in areas of land surface temperature >32 °C, than in areas characterized as low socioeconomic zones, high population density areas, or slum-like areas. In laboratory experiments, *A. aegypti* mosquito larval development, blood feeding, and oviposition associated positively with temperatures of 28–32 °C, indicating these temperatures to be favorable for dengue transmission. Thus, among all the variables studied, dengue incidence was most affected by the temperature.

CLIMA E DENGUE: CONSTATAÇÕES



CLIMA E DENGUE: CONSTATAÇÕES

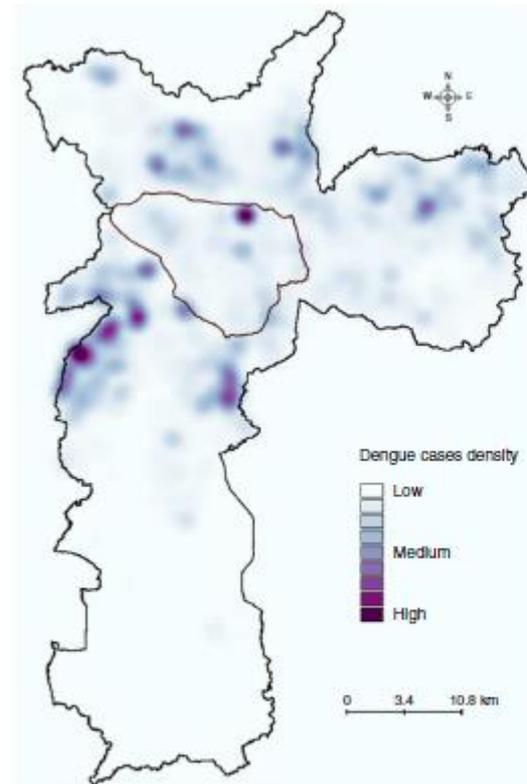


Fig. 2 - Kernel estimation of the distribution of dengue cases in São Paulo during 2010-2011. A kernel map was built using the spatial point distribution of the 7,415 dengue cases reported during 2010-2011. The area outlined in black is the main commercial and financial zone of São Paulo.

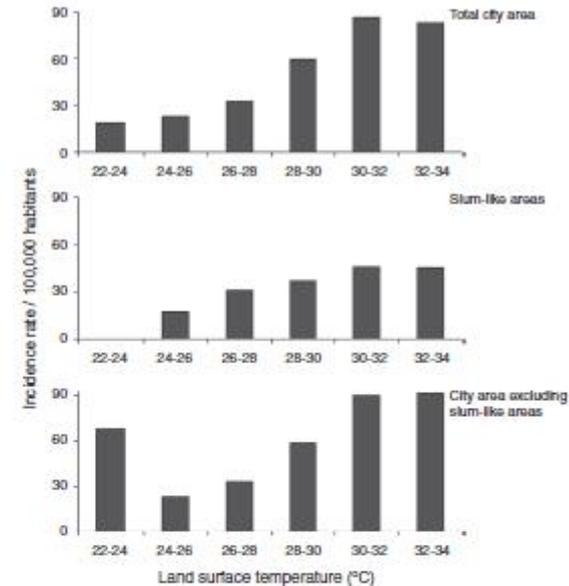


Fig. 3 - Dengue incidence in urban heat islands. Geocoded cases were divided according to the land surface temperature, and the incidence rate was calculated by dividing the number of cases by the population of that area, and multiplying the quotient by 100,000.

80% relative humidity, and a 12:12 h light:dark cycle). Larvae were fed powdered fish food (Sera, Heinsberg, Germany), and adult mosquitoes had access to 10% sucrose solution *ad libitum*.

To study the effects of temperature on oviposition, Higgs strain female mosquitoes were blood-fed on mice for 10 min (27 °C) and divided into four groups of 10 mosquitoes, which

CLIMA E DENGUE: CONSTATAÇÕES

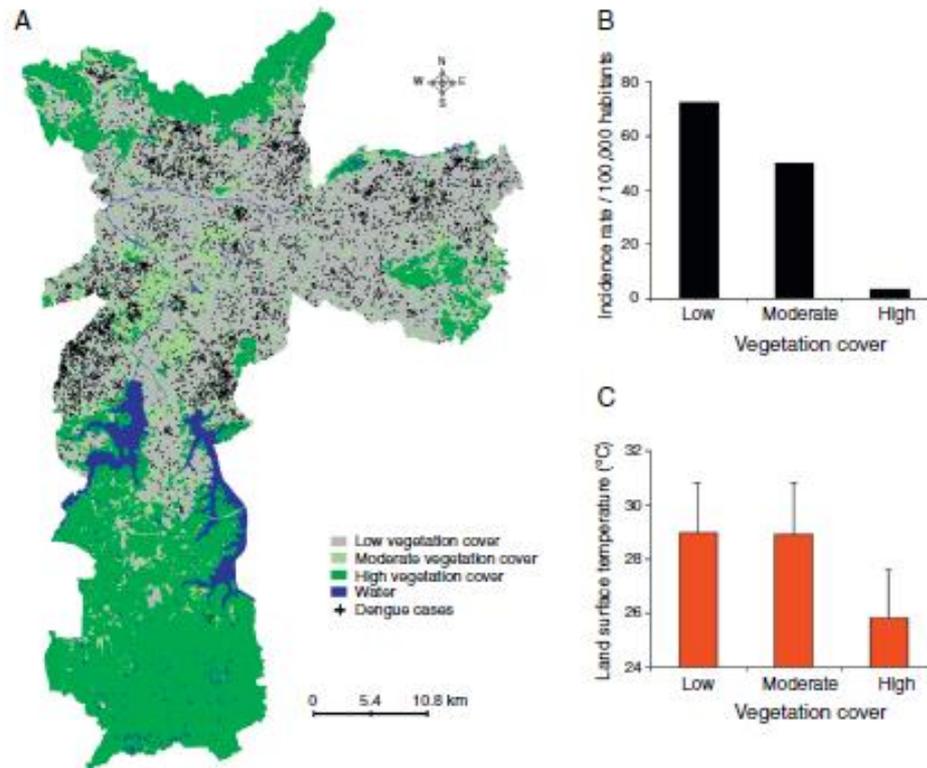


Fig. 5 - Dengue incidence by vegetation cover. (A) Dengue cases and vegetation cover areas were geocoded using geographical information systems. (B) The dengue incidence (cases per 100,000 inhabitants) and (C) land surface temperatures in the low, moderate, or high vegetation cover zones are shown.

**ANÁLISE DE INTERVENÇÃO EM SÉRIES
TEMPORAIS DE DENGUE E LEPTOSPIROSE DA
CIDADE DE SÃO PAULO**

HIPÓTESES

HIPÓTESES DE ESTUDO



OBJETIVOS

OBJETIVOS DO ESTUDO

Avaliar o efeito dos eventos de calendário e das condições climáticas sobre a ocorrência de casos de dengue e leptospirose na cidade de São Paulo, no período de 2000 a 2011.

1. Identificar e descrever as propriedades das séries temporais de dengue e leptospirose.
2. Ajustar modelos estatísticos adequados à compreensão da relação temporal de causa-efeito entre as séries.
3. Utilizar os modelos estatísticos estudados para fazer previsões de valores futuros.
4. Propor melhorias nos métodos de vigilância e controle da dengue e da leptospirose.

MÉTODOS

MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Dois casos particulares de modelos estatísticos de séries temporais foram utilizados:

1. Modelos Aditivos Generalizados (GAM), com a função de alisamento exponencial PDL.
2. Modelos de Funções de Transferência (ARIMAX), estimados segundo Box-Jenkins.

1. MODELAGEM ESTATÍSTICA: ESTUDO DA DENGUE

DENGUE: SÉRIES ESTUDADAS

Série de Saída: Casos autóctones de dengue

Séries de Entrada:

Climáticas	Técnicas	Epidemiológicas
Pluviosidade	Vedação caixa d'água	Casos importados
Temperatura do ar	Visitas de controle	%PE positivos
Velocidade do vento	Visitas de prevenção	Calendário
Horas de brilho do sol		
Evaporação		
Umidade relativa		
Pressão atmosférica		
SST		

RESULTADOS

ESTUDO DA DENGUE

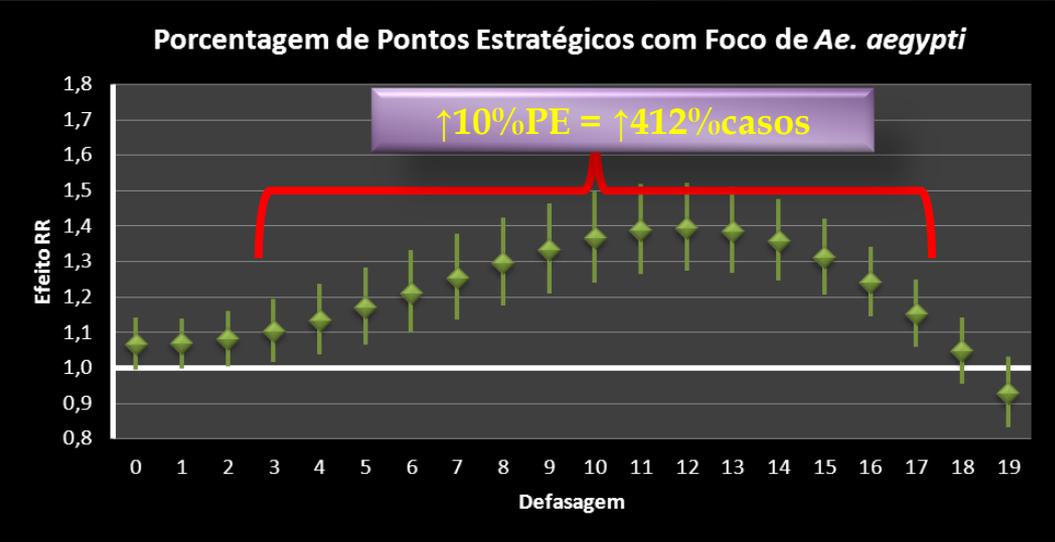
MODELO ADITIVO GENERALIZADO

GAM MODELO 1

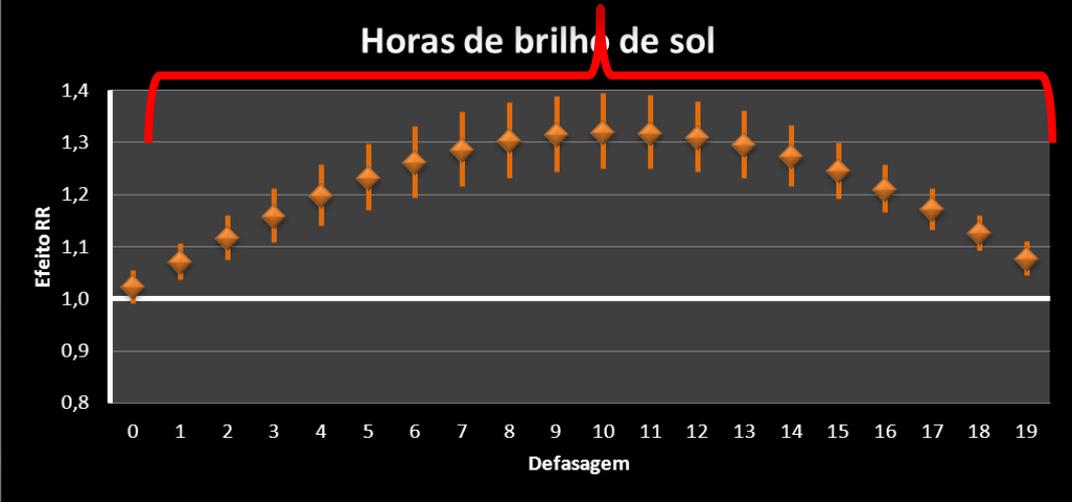
Pontos Estratégicos, Brilho do Sol, Temperatura, Pluviosidade e Carnaval

MODELO ADITIVO GENERALIZADO

Modelo 1: Variáveis contínuas



↑14h = ↑428%casos



MODELO ADITIVO GENERALIZADO

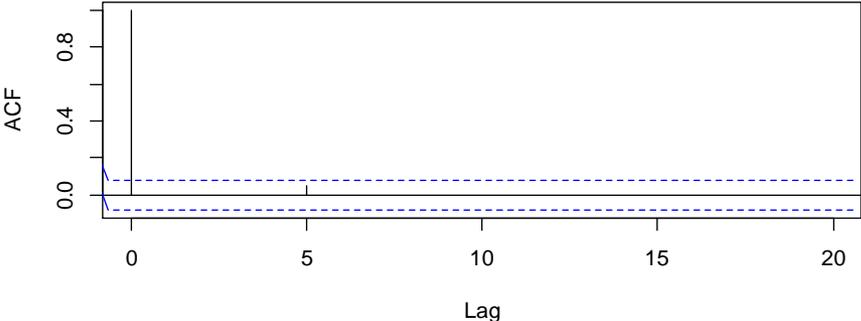
Modelo 1: Variáveis categóricas

Série	Lag	Coefficiente	Erro Padrão	A%	Intervalo de confiança 95%	
Frente fria ($T_{\min} < 16^{\circ}\text{C}$)	1	-0,14940	0,0500	-13,9	-23,7	-4,1
	2	-0,15400	0,0495	-14,3	-24,0	-4,6
Calor ($T_{\max} > 27^{\circ}\text{C}$)	1	0,16930	0,0365	18,4	11,3	25,6
	2	0,11200	0,0316	11,9	5,7	18,0
	3	0,13150	0,0340	14,1	7,4	20,7
Pluviosidade < 7mm	1	0,00680	0,0336	0,7	-5,9	7,3
	4	-0,19480	0,0444	-17,7	-26,4	-9,0
Pluviosidade > 70mm	1	-0,09832	0,0438	-9,4	-18,0	-0,8
	4	0,05301	0,0343	5,4	-1,3	12,2
Feriado de Carnaval	4	0,14120	0,0506	15,2	5,2	25,1

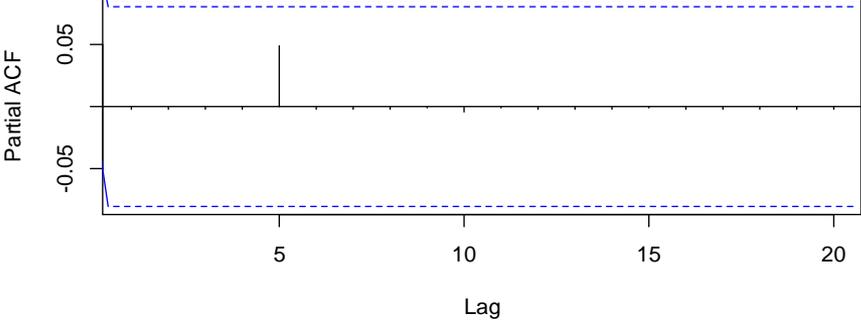
MODELO ADITIVO GENERALIZADO

Modelo 1: Ajuste

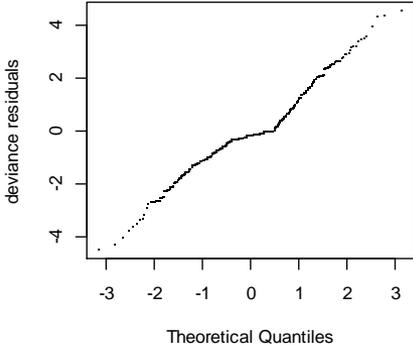
Series gampdl.M1\$resid



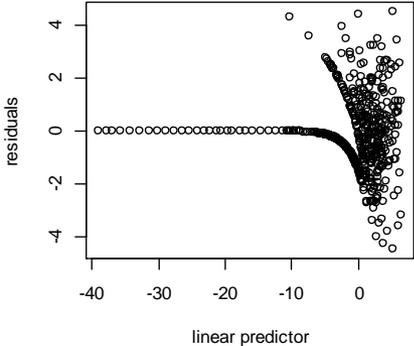
Series gampdl.M1\$resid



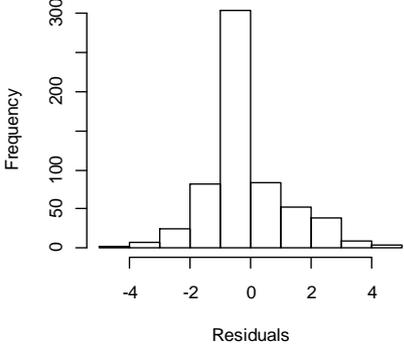
Normal Q-Q Plot



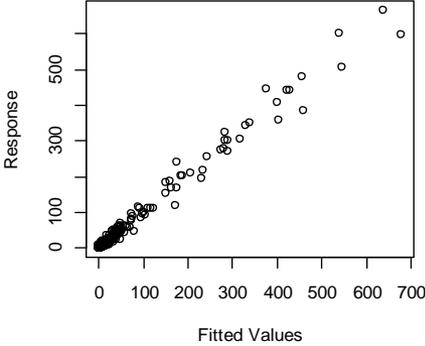
Resids vs. linear pred.



Histogram of residuals

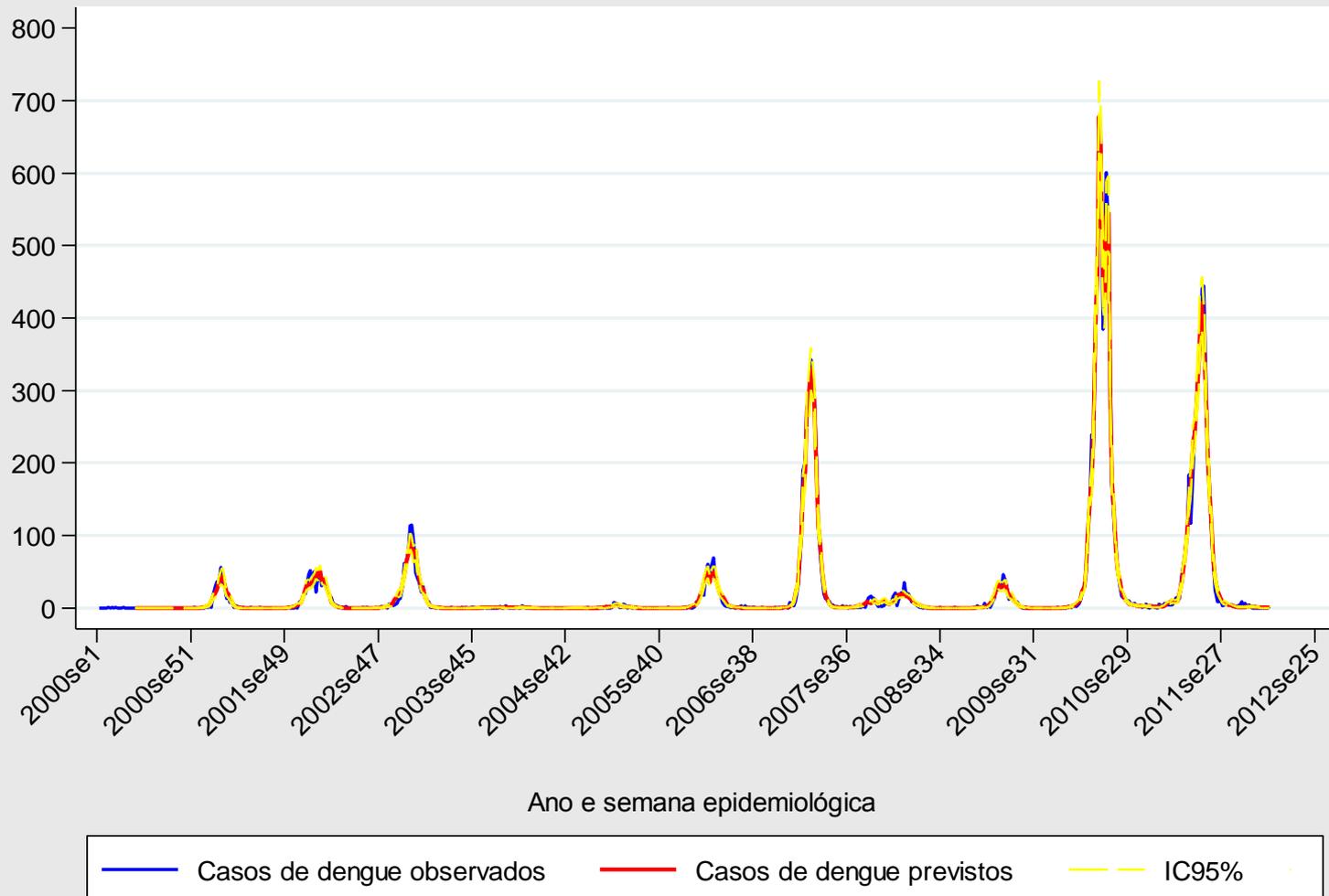


Response vs. Fitted Values



MODELO ADITIVO GENERALIZADO

Modelo 1: Previsão dentro da série



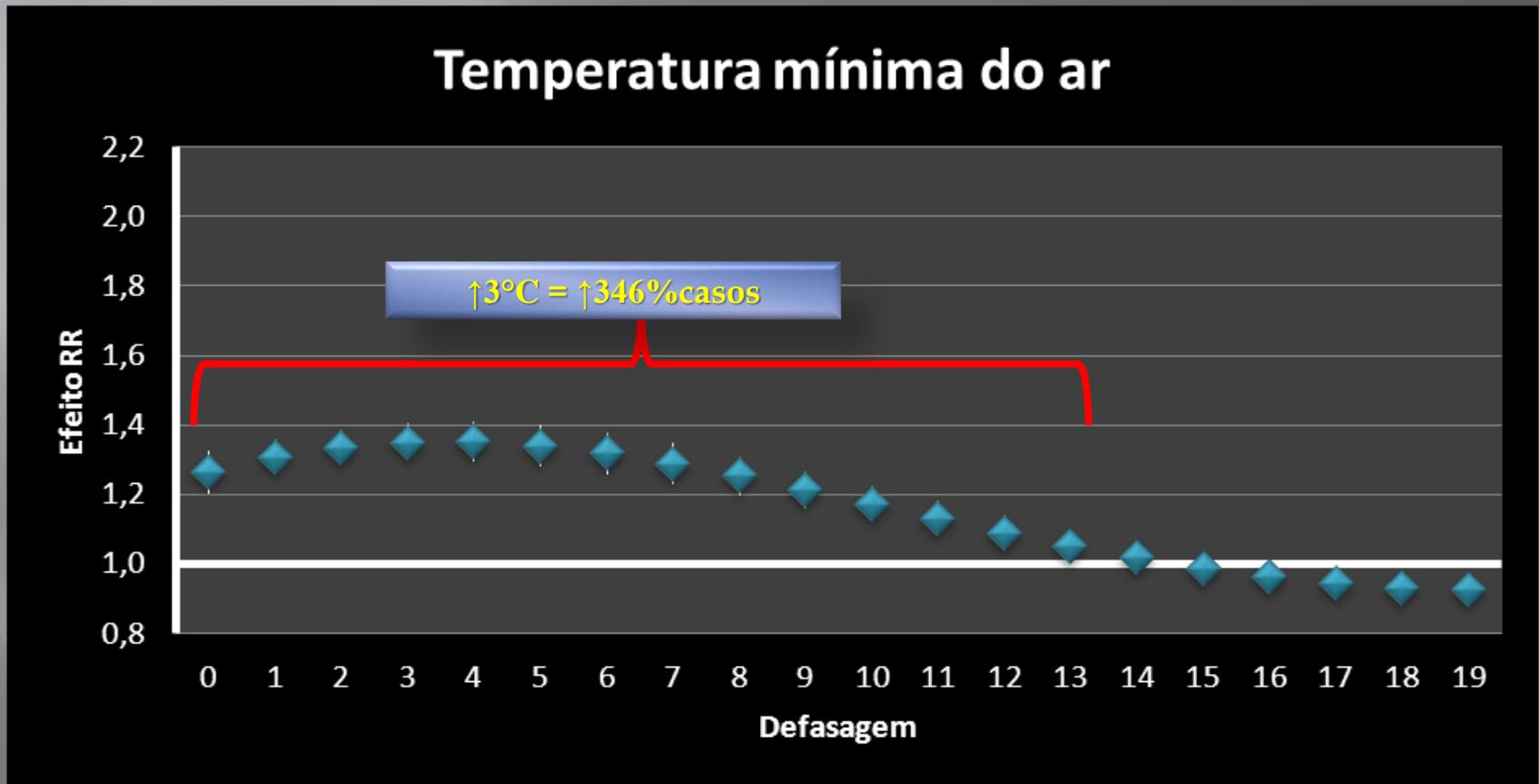
MODELO ADITIVO GENERALIZADO

MODELO 2

Temperatura, Pluviosidade e Carnaval

MODELO ADITIVO GENERALIZADO

Modelo 2: Variável contínua



MODELO ADITIVO GENERALIZADO

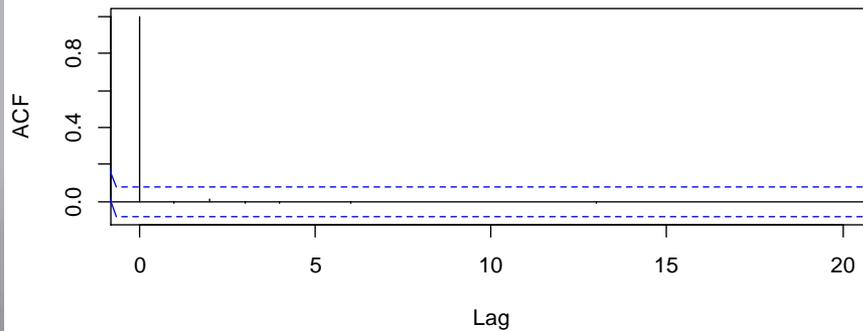
Modelo 2: Variáveis categóricas

Série	Lag	Coefficiente	Erro Padrão	A%	Intervalo de confiança 95%	
Pluviosidade<7mm	1	0,00680	0,0343	3,5	-2,8	9,8
	2	0,06064	0,0330	6,3	-0,2	12,7
	4	-0,09247	0,0414	-8,8	-17,0	-0,7
Pluviosidade>70mm	1	-0,01589	0,0427	-14,7	-23,1	-6,3
	2	-0,09247	0,0403	-8,8	-16,7	-0,9
	4	0,05434	0,0314	5,6	-0,6	11,7
Feriado de carnaval	4	0,15040	0,0488	16,2	6,7	25,8
Termo Autorregressivo	2	-0,00063	0,0003	-	-	-

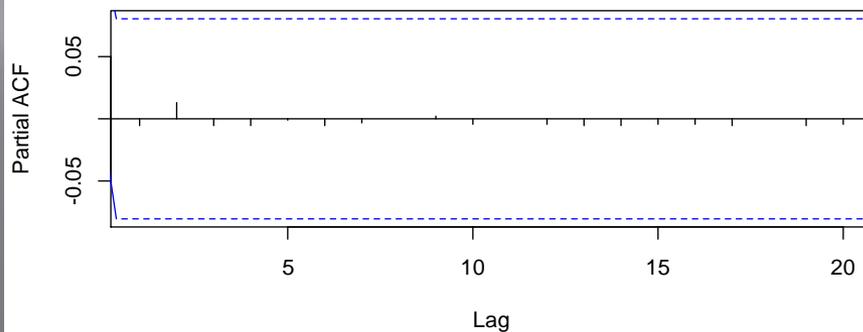
MODELO ADITIVO GENERALIZADO

Modelo 2: Ajuste

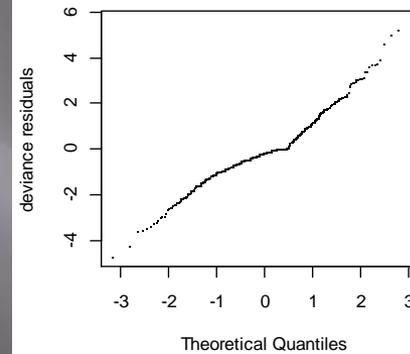
Series gampdl.M1\$resid



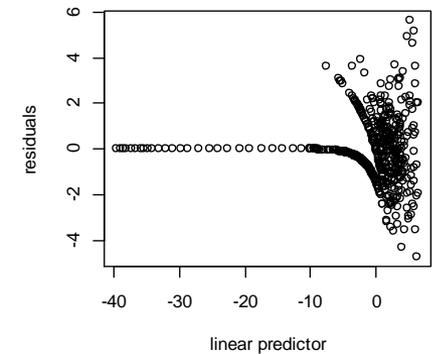
Series gampdl.M1\$resid



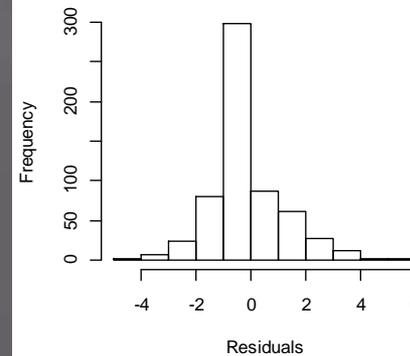
Normal Q-Q Plot



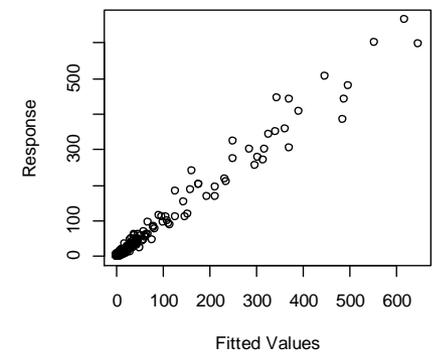
Resids vs. linear pred.



Histogram of residuals

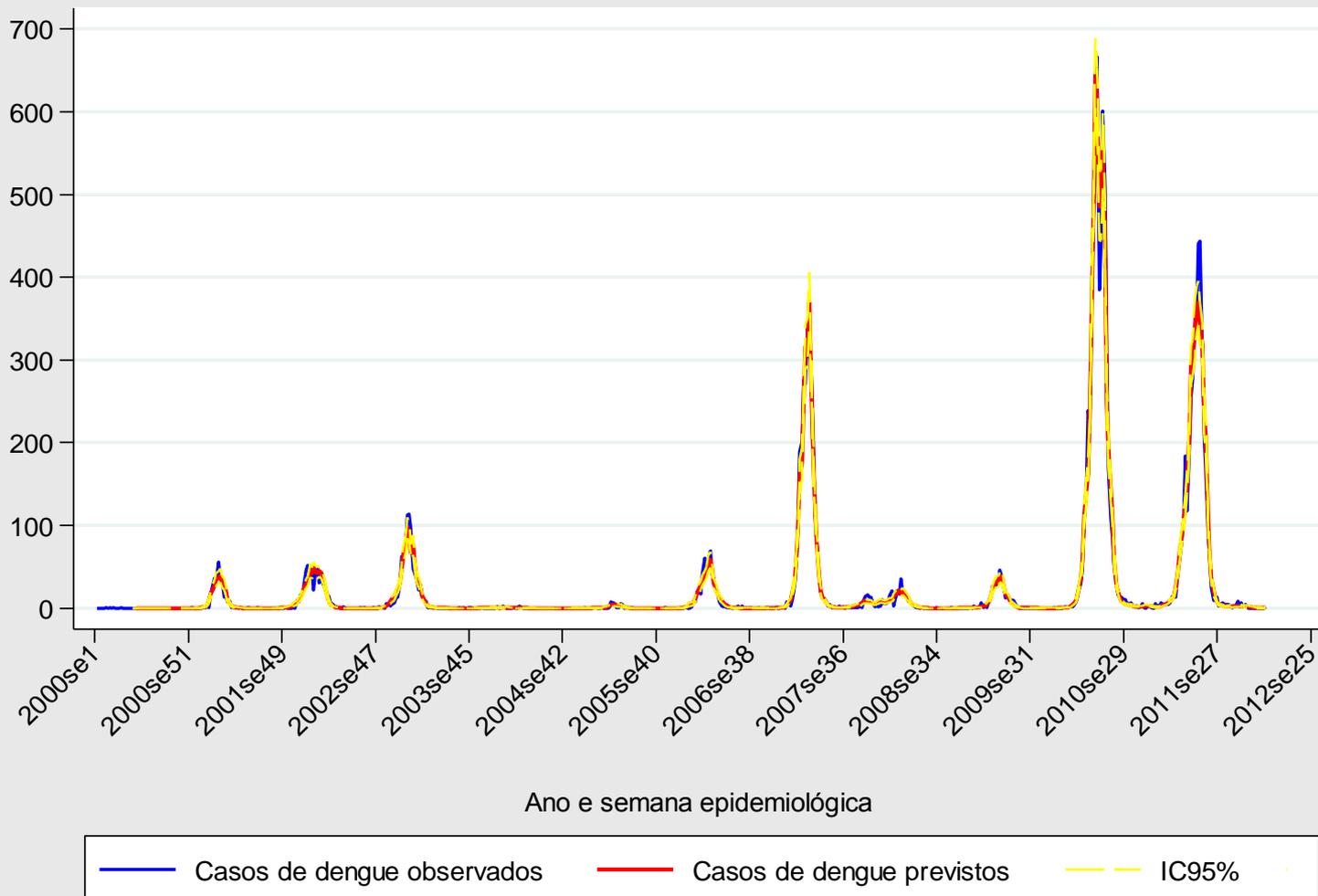


Response vs. Fitted Values



MODELO ADITIVO GENERALIZADO

Modelo 2: Previsão dentro da série

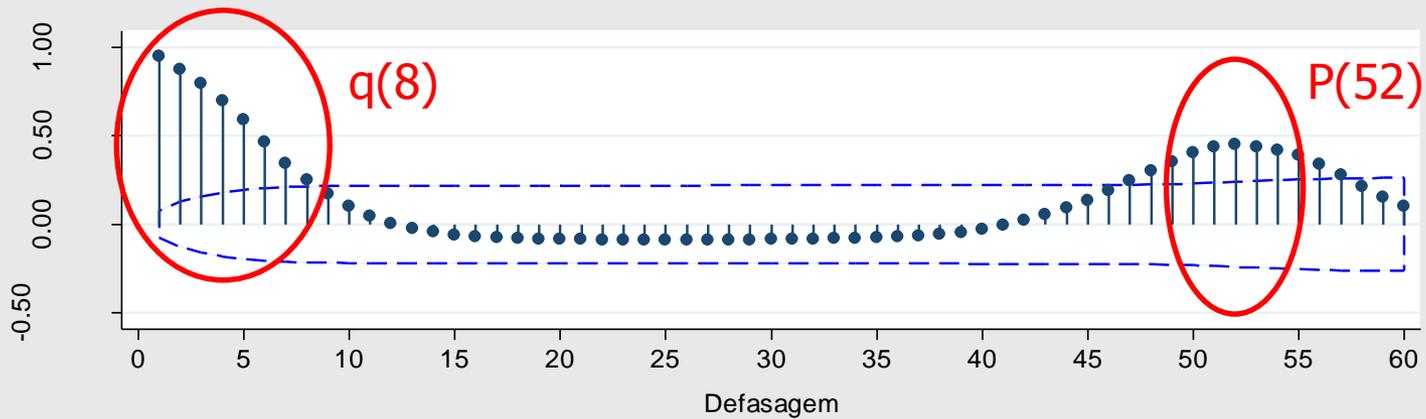


DENGUE

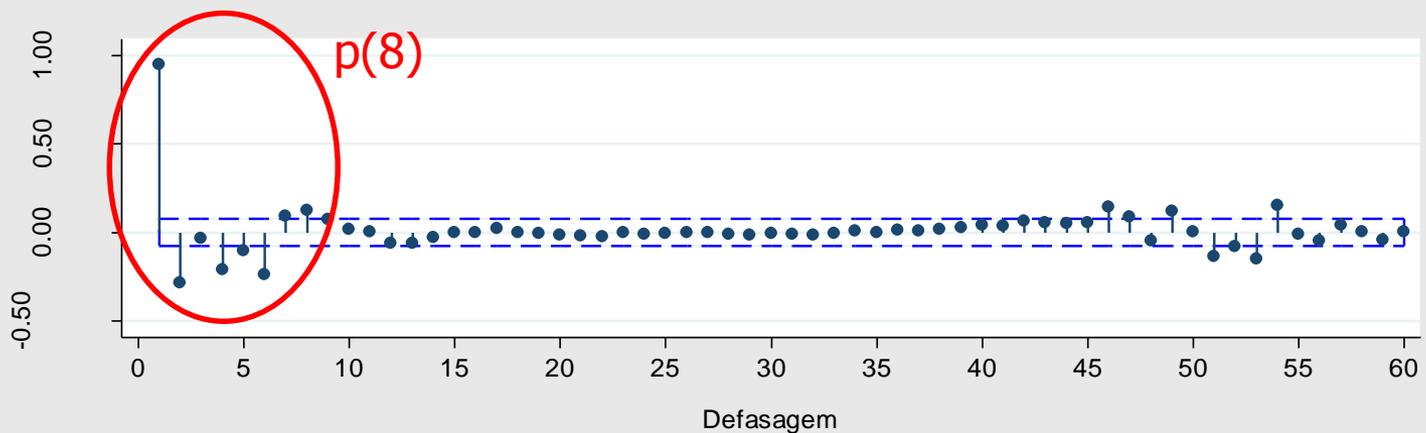
MODELO DE FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

IDENTIFICAÇÃO: ESTRUTURA ARMA

2. Termos autorregressivos e de médias móveis.



Bartlett's formula for MA(q) 95% confidence bands



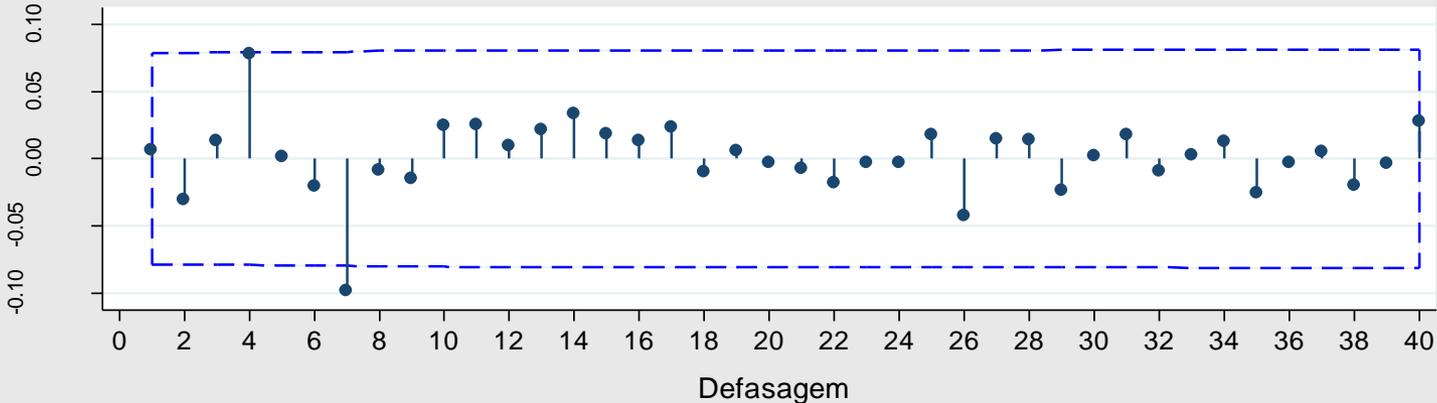
95% Confidence bands [se = 1/sqrt(n)]

MODELO DE FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA ESTIMADO

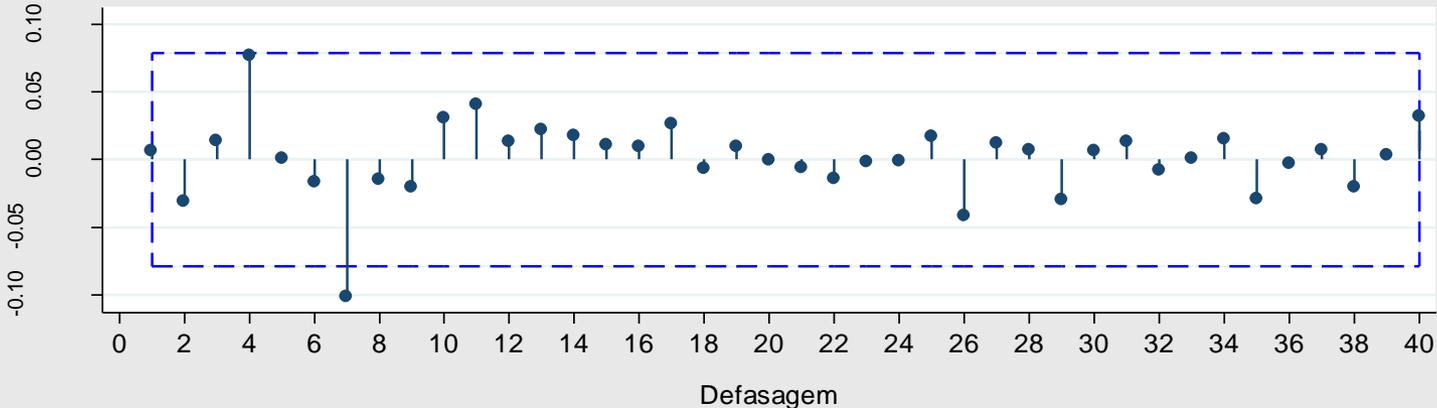
Série de entrada	Lag	Coefficiente	Erro Padrão	Valor de p	Delta	Casos esperados
Pluviosidade acumulada (mm)	10	0,03872	0,0182	0,033	25	1
Temperatura mínima ar (°C)	10	0,97380	0,4049	0,016	5	5
Frente fria ($T_{\min} < 16^{\circ}\text{C}$)	1	-6,73086	2,2049	0,002	1	-7
Casos importados (n)	3	0,15331	0,0621	0,014	20	3
Visitas de Prevenção (n)	40	-0,00012	$5 \cdot 10^{-5}$	0,008	50.000	-6
Termos da estrutura ARMA						
Autorregressivo	1	0,92730	0,0212	<0,001	-	-
	7	-0,08891	0,0191	<0,001	-	-
Médias móveis	1	0,19527	0,0421	<0,001	-	-
	3	0,11408	0,0431	0,008	-	-
	5	0,24969	0,0414	<0,001	-	-
Autorregressivo sazonal	52	0,24462	0,0435	<0,001	-	-

MODELO DE FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA ESTIMADO

Ajuste do Modelo: Resíduos



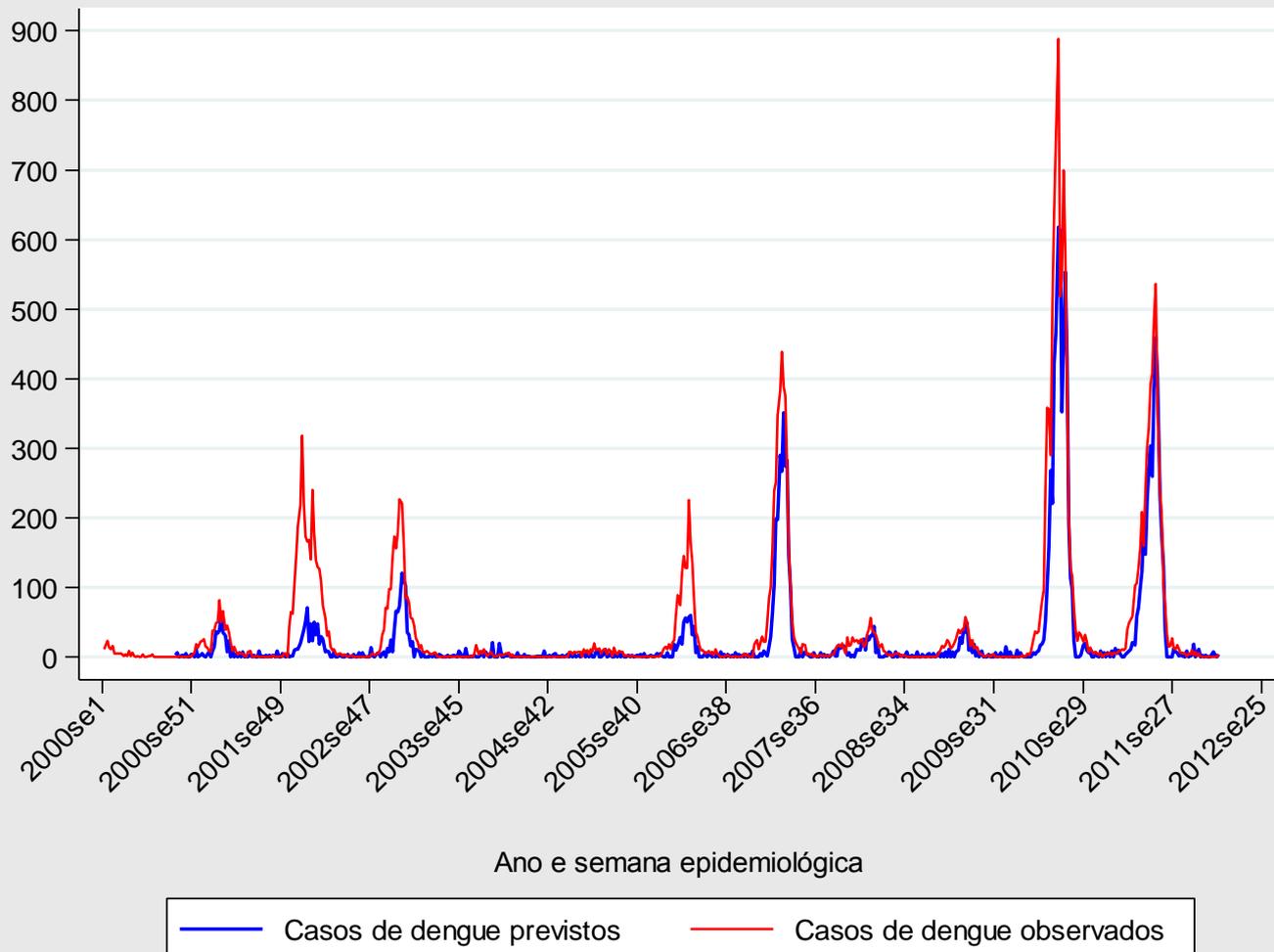
Bartlett's formula for MA(q) 95% confidence bands



95% Confidence bands [se = 1/sqrt(n)]

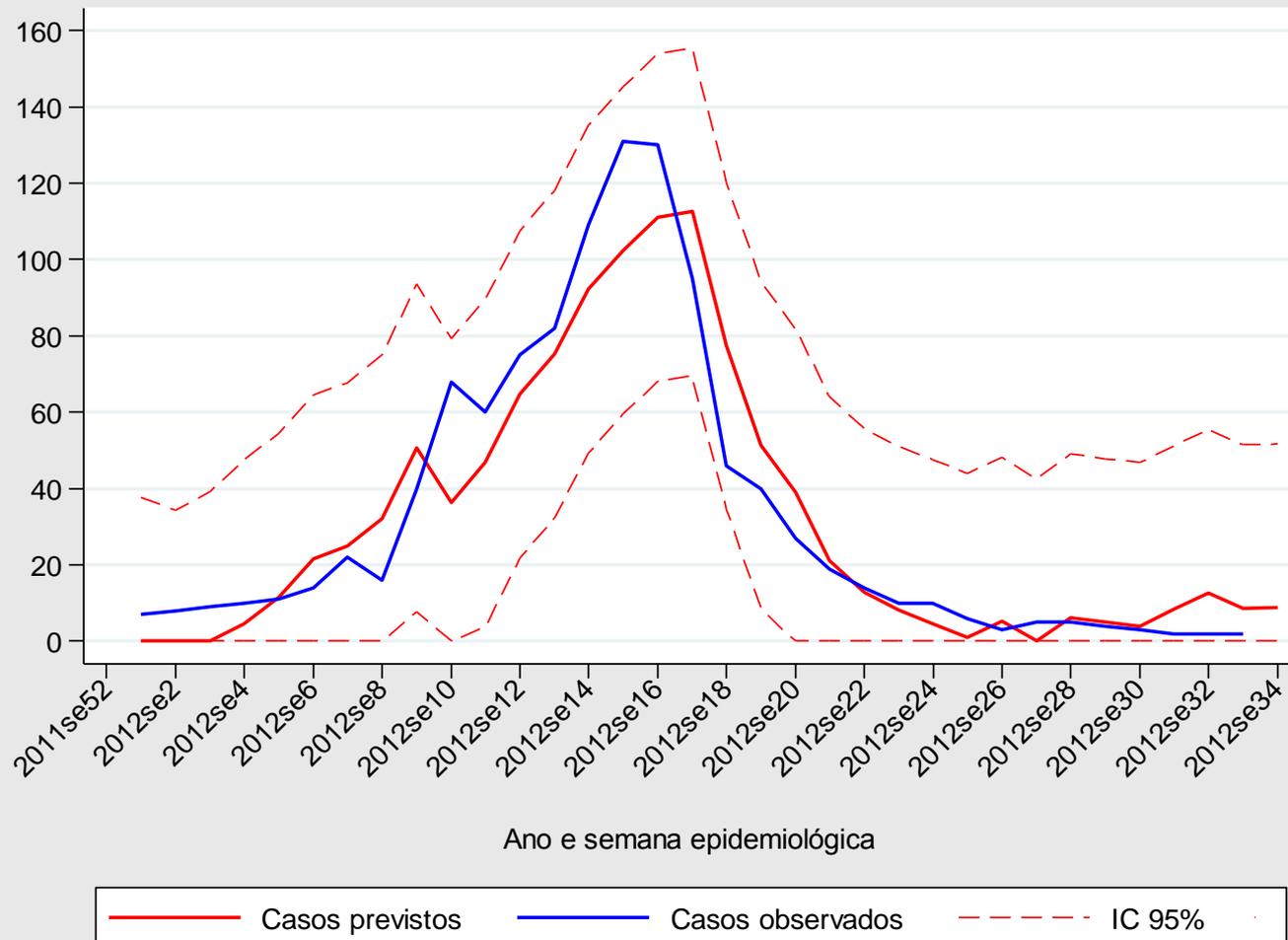
MODELO DE FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA ESTIMADO

Ajuste do Modelo: Previsão dentro da série



MODELO DE FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA ESTIMADO

Ajuste do Modelo: Previsão fora da série



DENGUE

RESULTADOS

PLAUSIBILIDADE BIOLÓGICA

PLAUSIBILIDADE BIOLÓGICA

1. Temperatura: Efeito no vetor

Temperatura

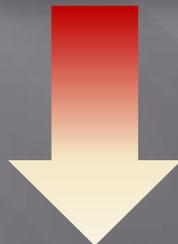


Aedes aegypti

- Reprodução
- Velocidade do ciclo de desenvolvimento
- Número de descendentes
- Tamanho do vetor
- Número de repastos
- Horas de atividade
- Período de incubação extrínseca do vírus
- Replicação viral



Número de casos



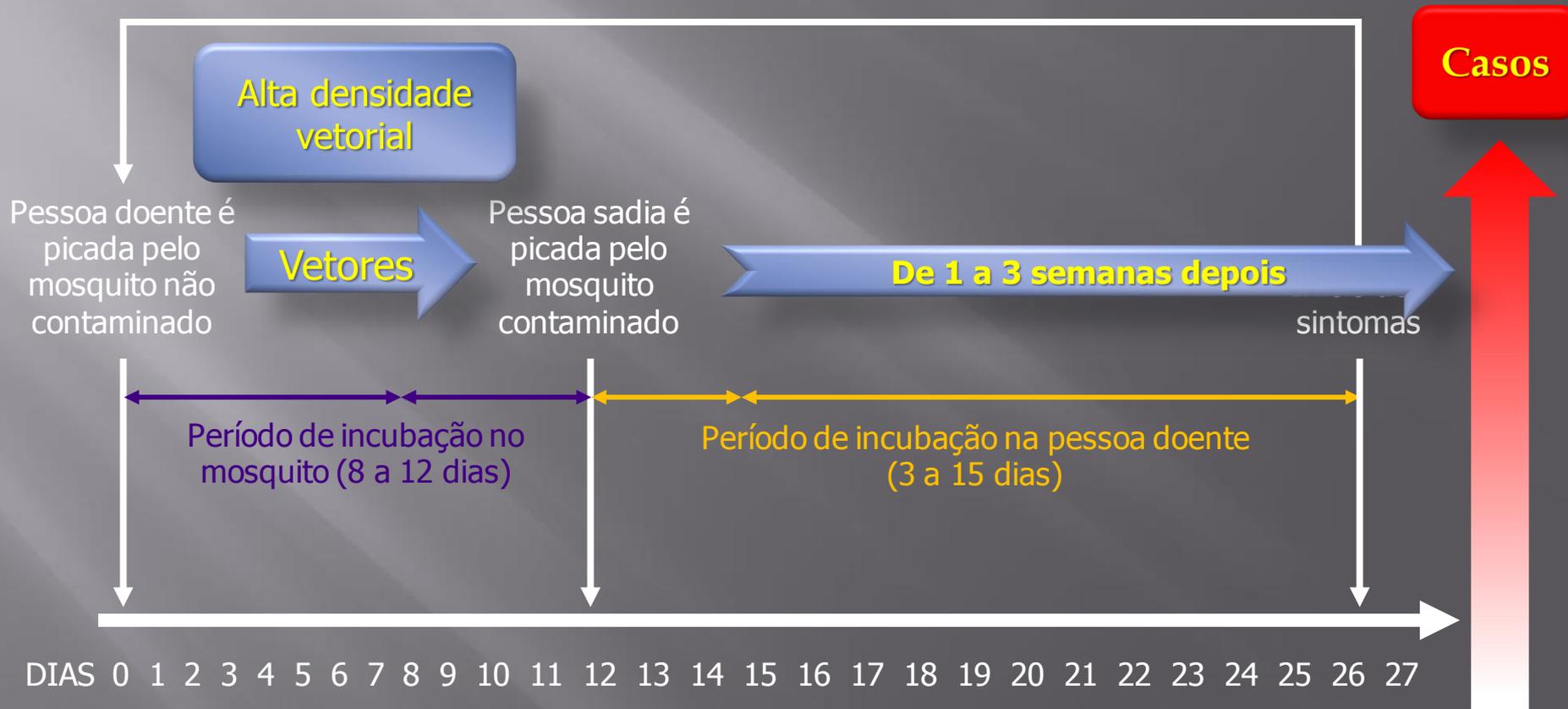
16°C < Temperatura > 27°C

Número de casos



PLAUSIBILIDADE BIOLÓGICA

2. Temperatura: Efeito na doença



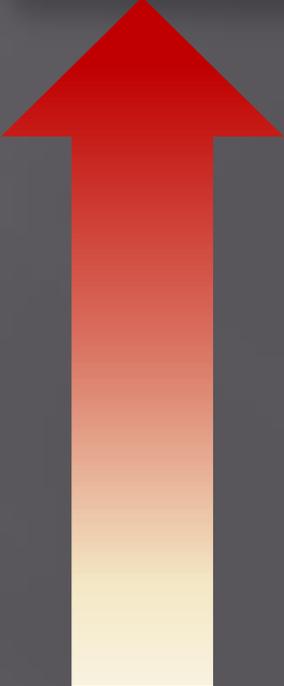
PLAUSIBILIDADE BIOLÓGICA

3. Pluviosidade: Efeito no vetor

Pluviosidade



Densidade
vetorial

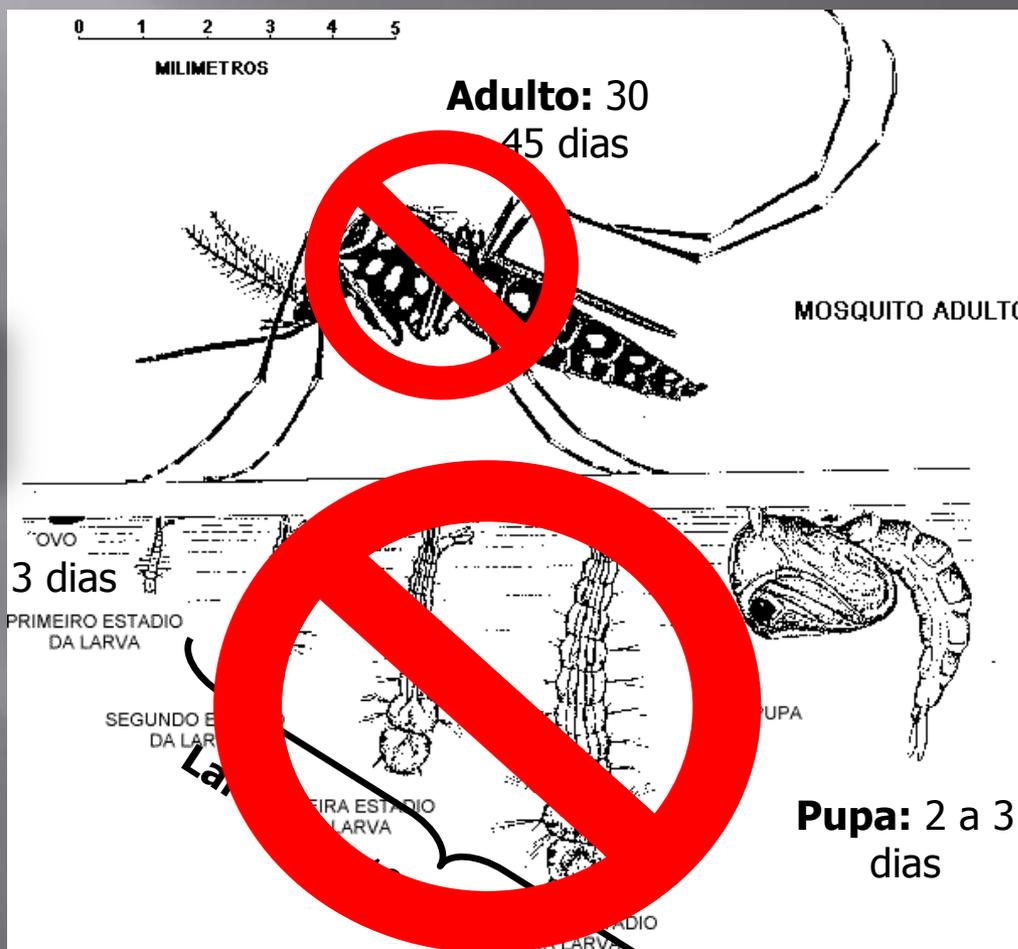


Até 10 semanas depois

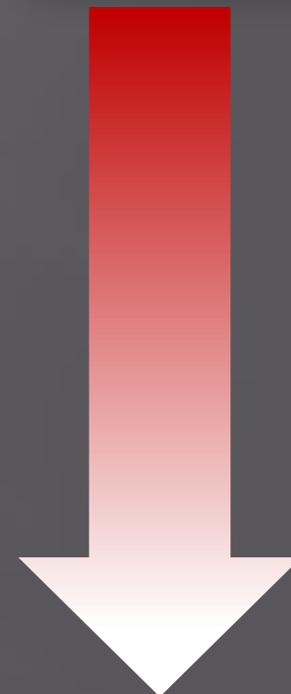
PLAUSIBILIDADE BIOLÓGICA

4. Pluviosidade: Efeito no vetor

Pluviosidade
<7mm ou >70mm

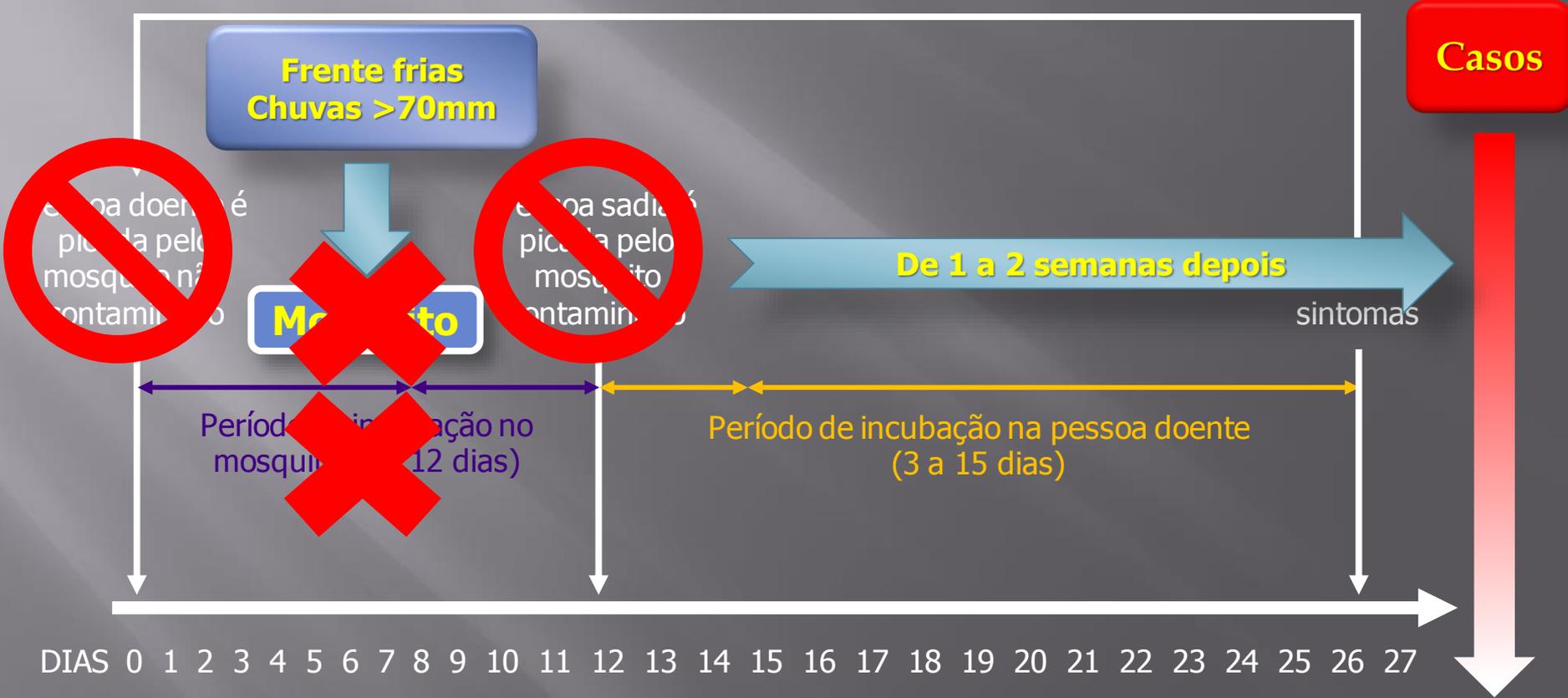


Densidade
vetorial



PLAUSIBILIDADE BIOLÓGICA

5. Frentes frias e Chuvas extremas: Efeitos na doença



CRISE HÍDRICA E EPIDEMIA DE DENGUE

Crises: uma perspectiva multidisciplinar

Escola Doutoral

Instituto de Estudos Avançados

Universidade de São Paulo

10, 11 e 12 de abril de 2017

Dia 12/04

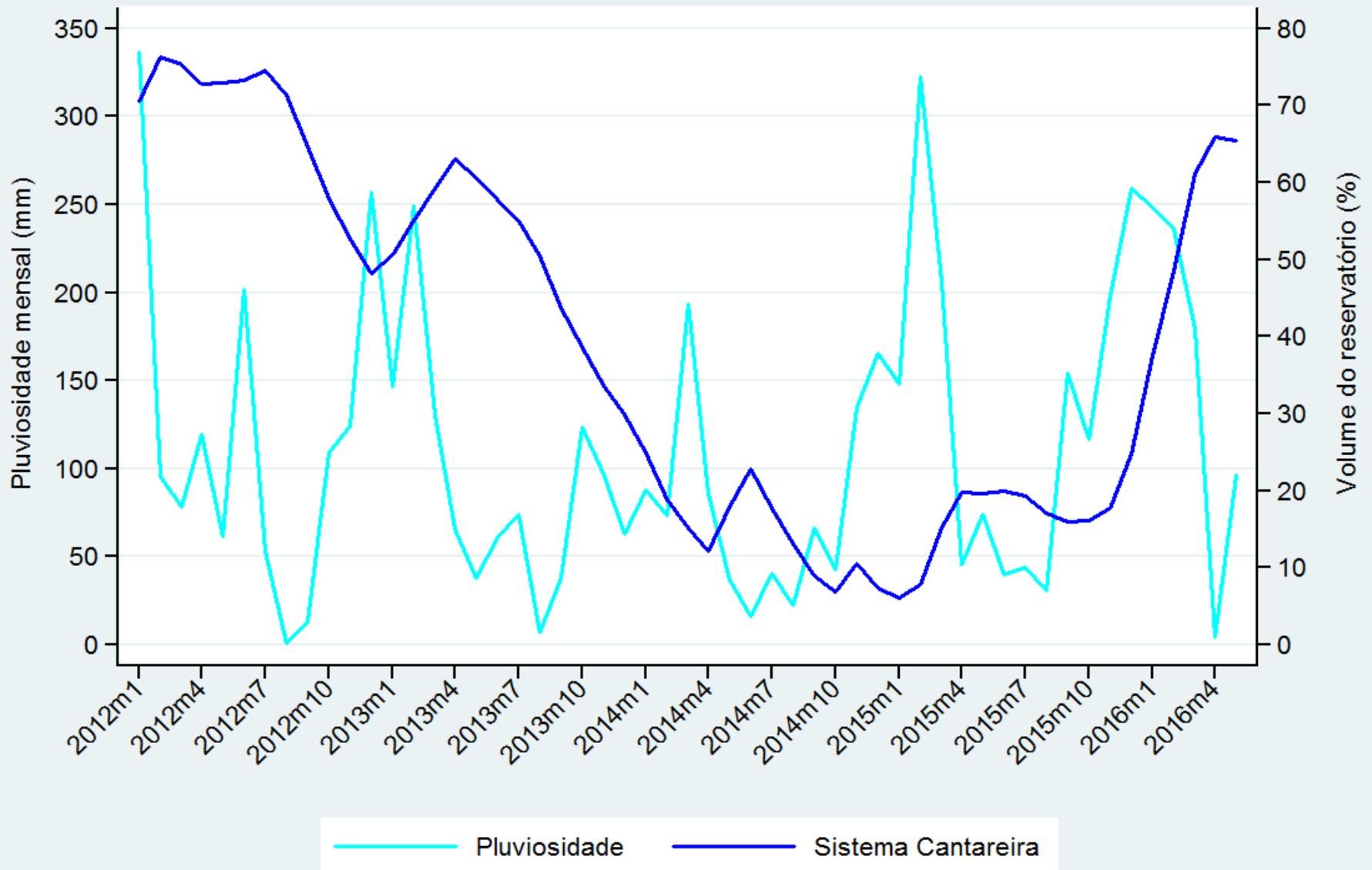
9:00 - Mesa 5: Crise e meio ambiente

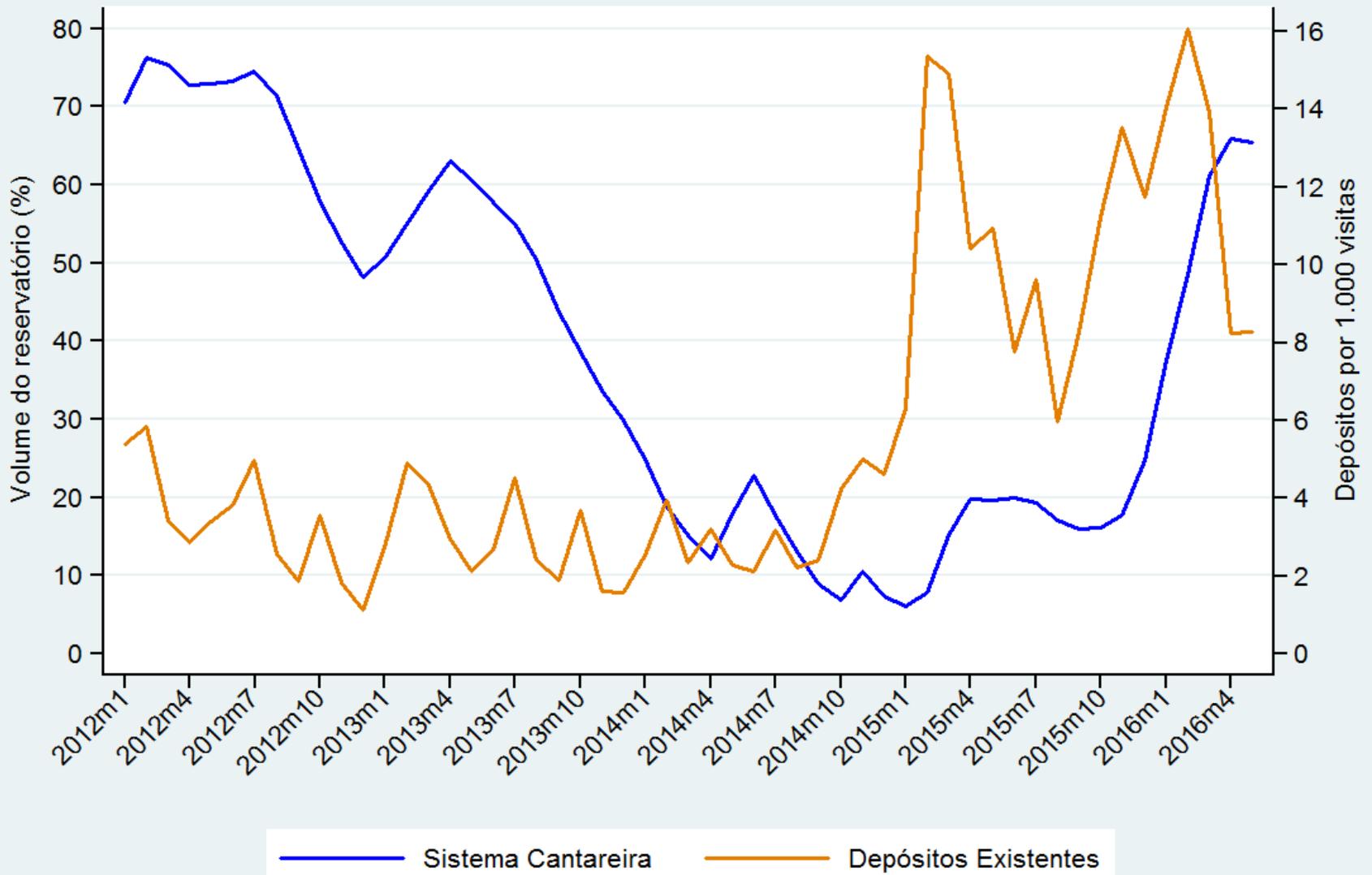
Coordenadora: Rita de Cassia Ariza Cruz (USP)

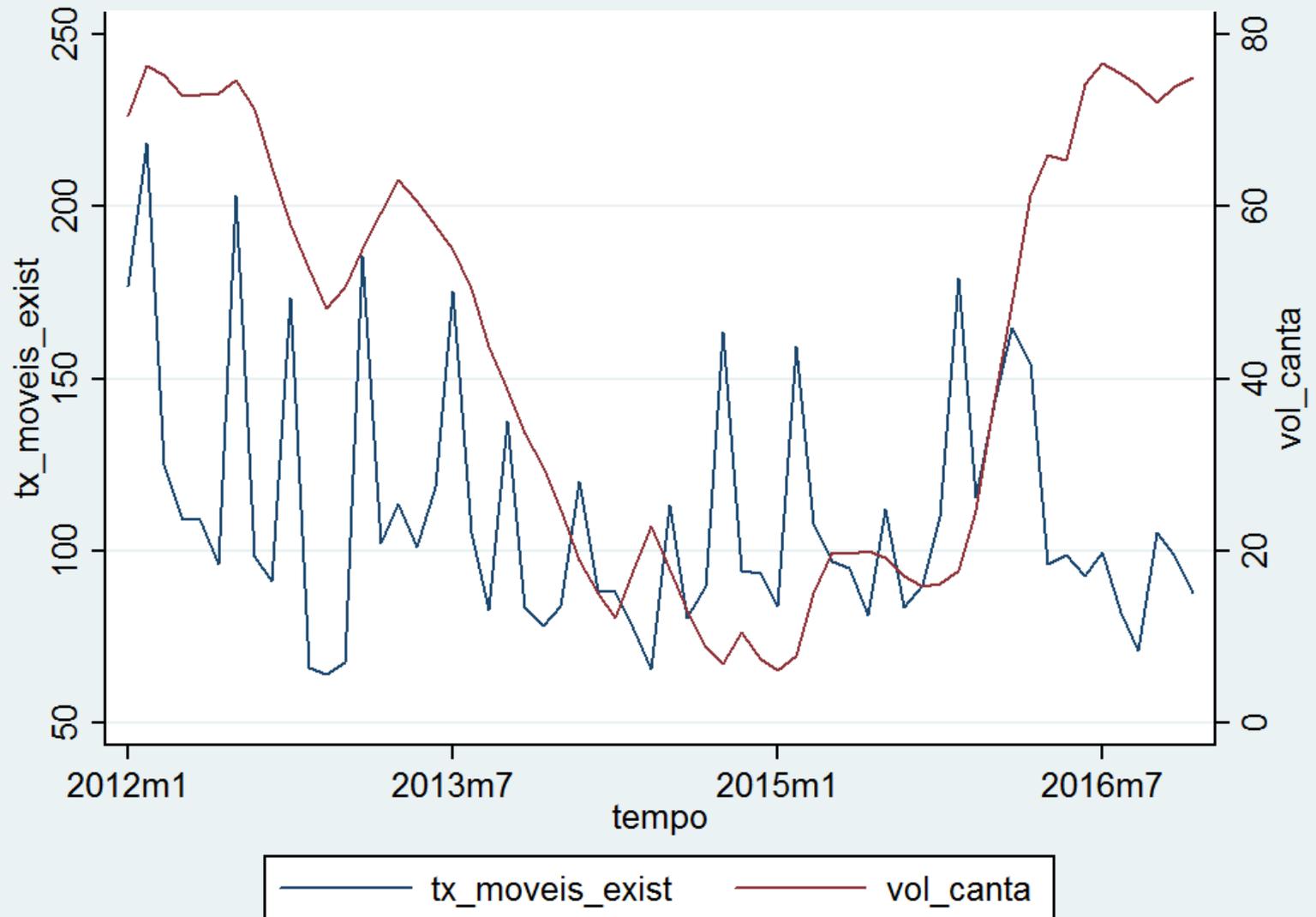
Estela Maria de Azevedo Nery Ferreira	Programa Interunidades de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada), CENA/USP –ESALQ	Potencialidades e limites da cosmovisão ecológica como novo paradigma civilizatório
Karsten Marhold	FRS-FNRS – Université Libre de Bruxelles (ULB)	The 1970s as Technological Crisis. Electric Vehicle Projects in Germany and France, 1970-1985
Patricia Placoná Diniz; Eduardo de Masi; Francisco Alberto Pino; Delsio Natal	Faculdade de Saúde Pública - Universidade de São Paulo (USP)	A crise hídrica e a epidemia de Dengue no município de São Paulo

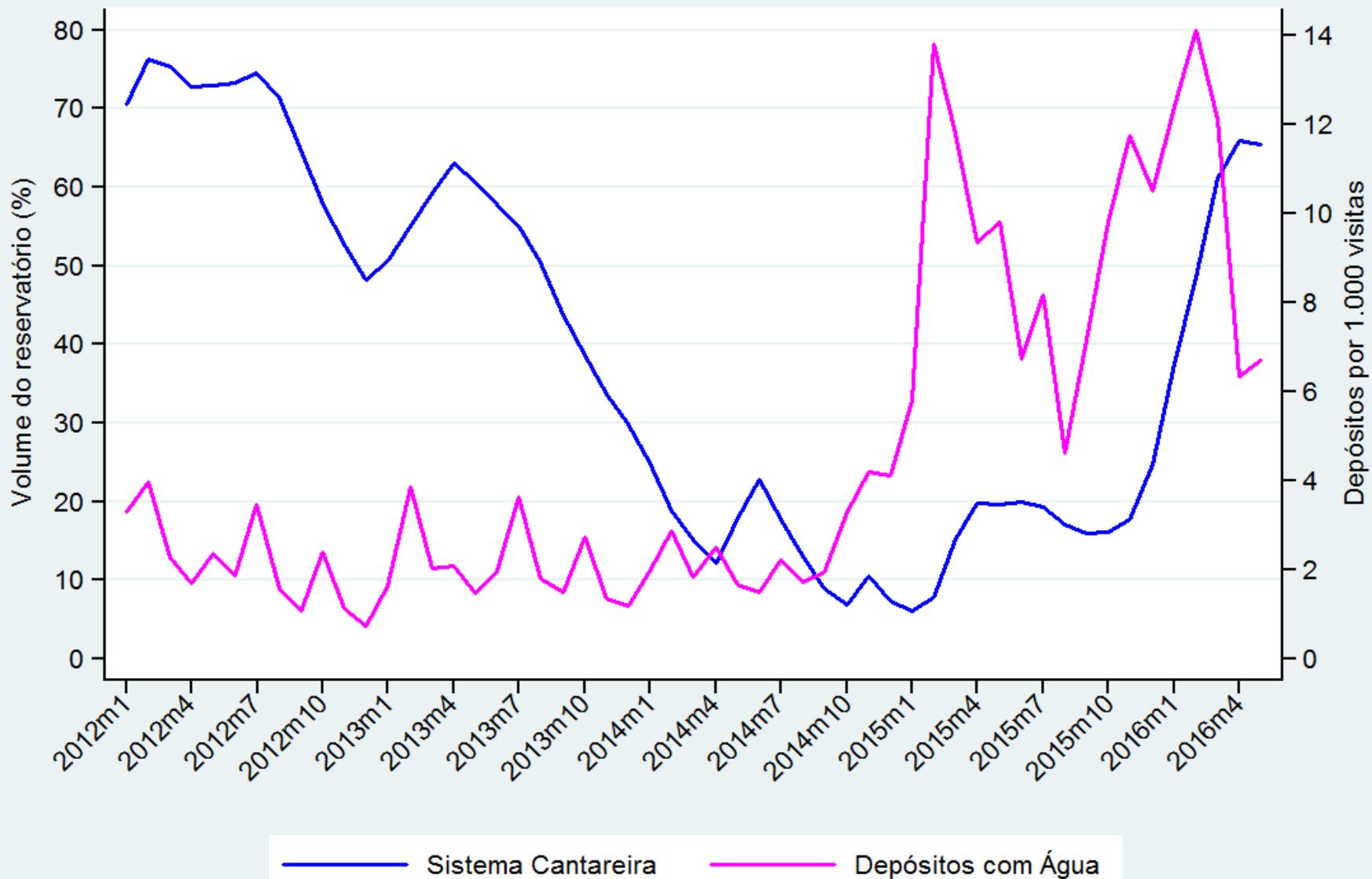
10:30 – Discussão

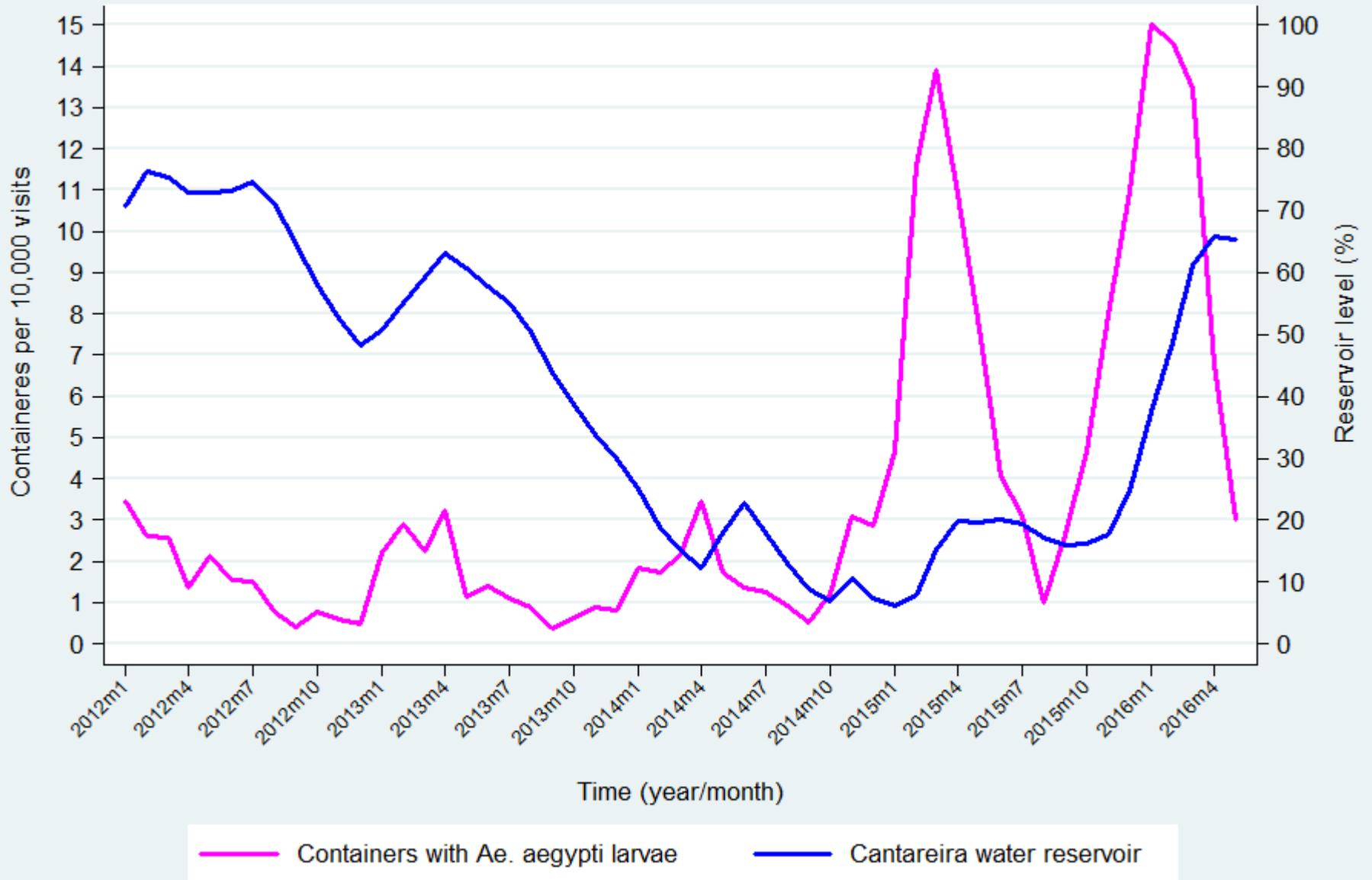
12:00 - Almoço

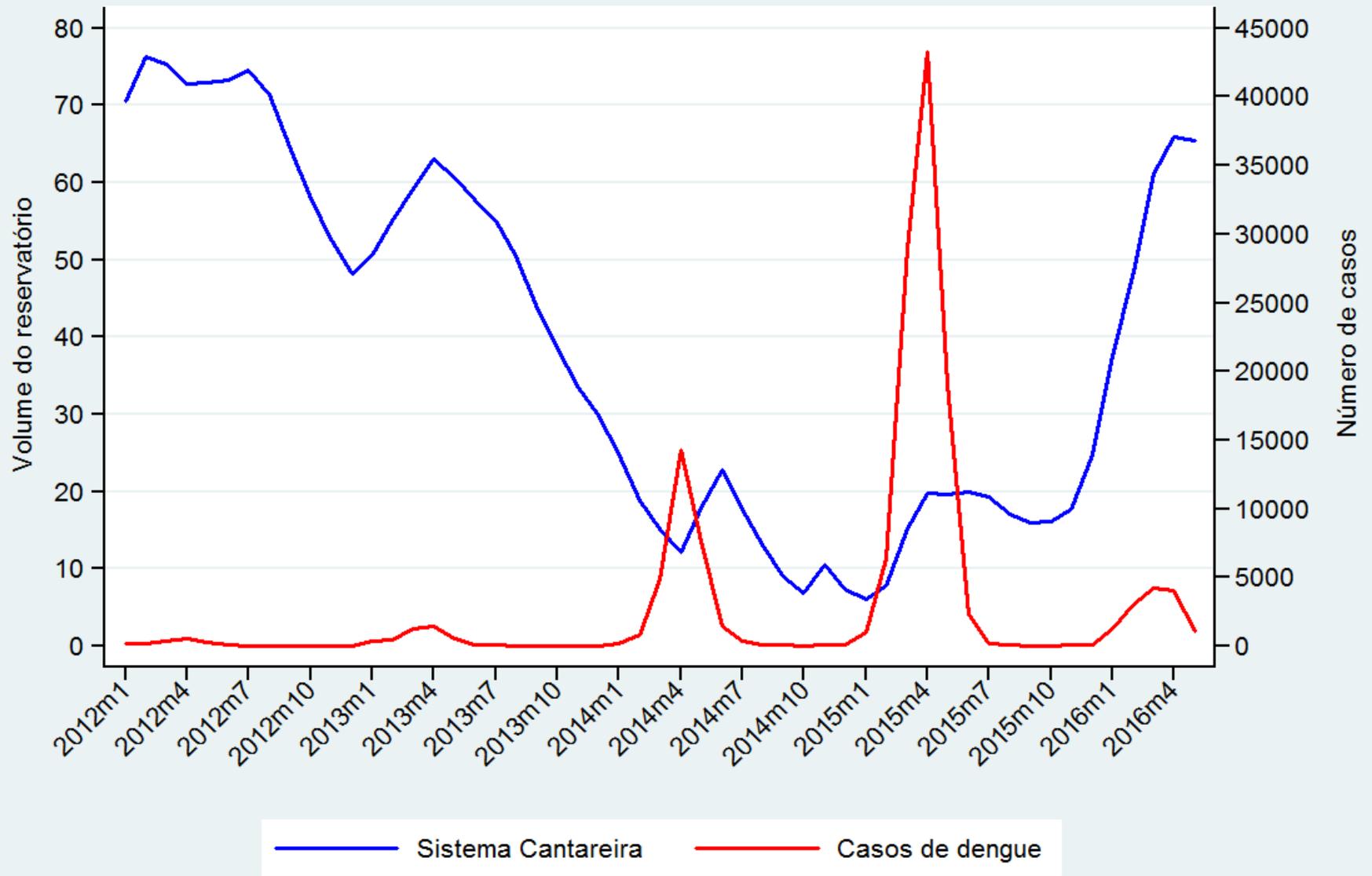












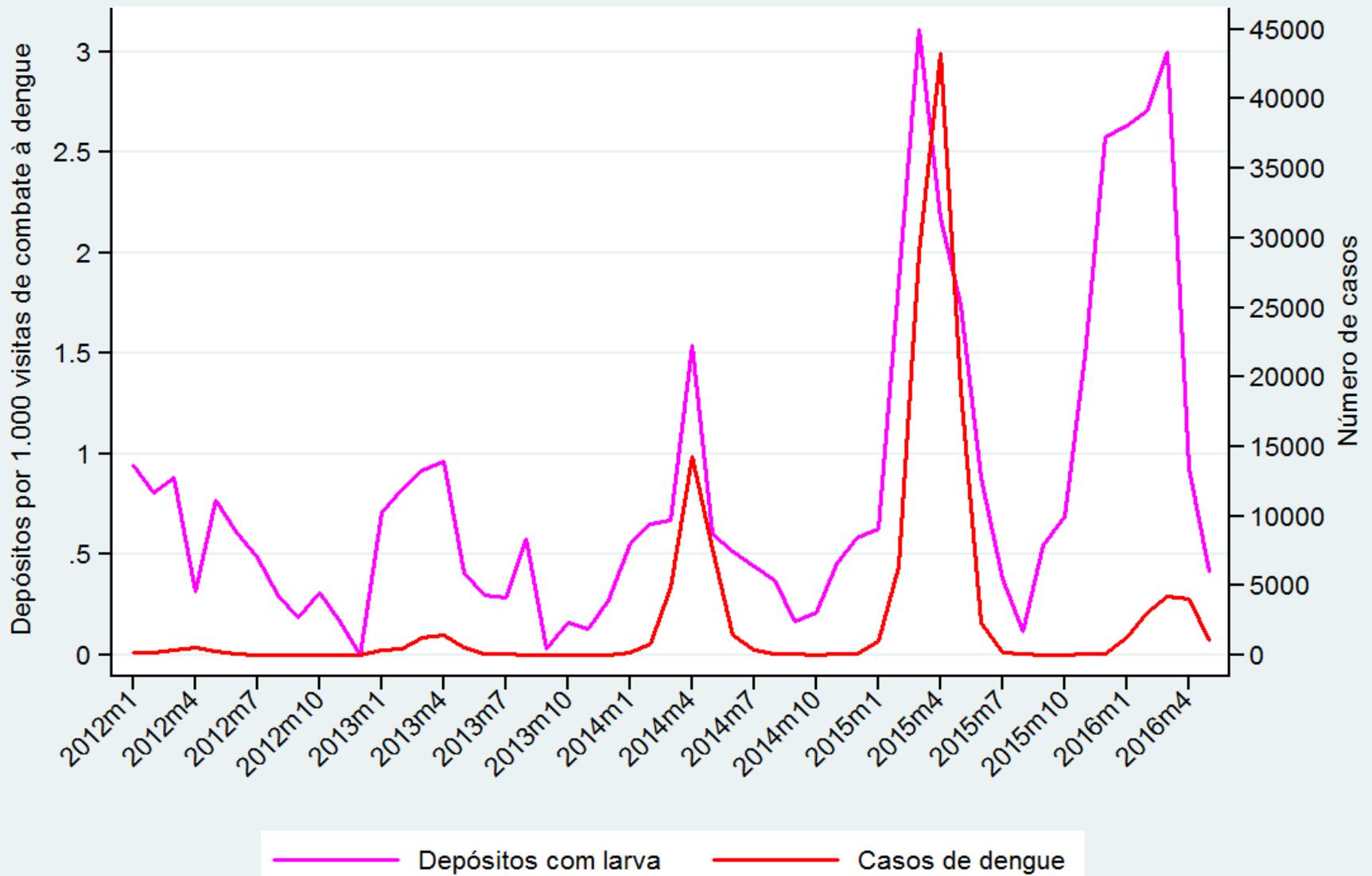


Tabela 1 – Média mensal e variação percentual na taxa de depósitos de armazenamento de água não ligados à rede pública de abastecimento por 1.000 vistas de controle da dengue, volume médio do reservatório do Sistema Cantareira e número médio de casos de dengue, antes, durante e após a crise hídrica. São Paulo, janeiro de 2012 a maio de 2016.

Crise	Período	Taxa Depósitos Existentes (por visitas)	Taxa Depósitos com água mil (por visitas)	Taxa Depósitos com larvas mil (por visitas)	Volume médio Do sistema Cantareira	Número médio de Casos de dengue
Antes	2012-2013	3,2	2,1	0,2	58,7	255
Durante	2014-março2016	7,7	6,6	0,5	19,4	5.195
Depois	abril2016-maio2016	8,3	6,5	0,5	65,7	2.559
CV*	Antes vs durante	144,5	208,6	262,4	-67,0	1.931

Tabela 2 – Modelo de função de transferência para taxa de depósitos de armazenamento de água não ligados à rede pública de abastecimento existente por 1.000 visitas de controle da dengue, município de São Paulo, Brasil, Janeiro de 2012 a maio de 2016.

Séries de entrada	Lag ^a	Coeficiente	Erro padrão	p-valor	Media do efeito percentual mensal
Temperatura mínima (°C)	0	-0,175	0,051	<0.001	-
Pluviosidade (mm)	0	0,011	0,003	<0.001	-
Crise hídrica (I) ^b	0	1,250	0,493	0.011	21,7
ARIMA Sazonal	12	0,475	0,135	<0.001	

Fonte de dados originais: SUSCOZ/SMS/PMSP e Estação Meteorológica/IAG/USP.

^aDefasagem em meses.

^bEfeito sobre a taxa de depósitos de armazenamento de água não ligados à rede de abril de 2014 a março de 2016.

Tabela 3 – Modelo de função de transferência para taxa de depósitos de armazenamento de água não ligados à rede pública de abastecimento com água por 1.000 visitas de controle da dengue, município de São Paulo, Brasil, Janeiro de 2012 a maio de 2016.

Séries de entrada	Lag ^a	Coefficiente	Erro padrão	p-valor	Media do efeito percentual mensal
Temperatura mínima (°C)	0	-0,158	0,045	<0.001	-
Pluviosidade (mm)	0	0,010	0,003	<0.001	-
Crise hídrica (I) ^b	0	1,068	0,437	0.015	23,4%
ARIMA Sazonal	12	0,476	0,136	<0.001	

Fonte de dados originais: SUSCOZ/SMS/PMSP e Estação Meteorológica/IAG/USP.

^aDefasagem em meses.

^bEfeito sobre a taxa de depósitos de armazenamento de água não ligados à rede de abril de 2014 a março de 2016.

Tabela 4 – Modelo de função de transferência para taxa de depósitos de armazenamento de água não ligados à rede pública de abastecimento com Larvas por 1.000 visitas de controle da dengue, município de São Paulo, Brasil, Janeiro de 2012 a maio de 2016.

Séries de entrada	Lag ^a	Coefficiente	Erro padrão	p-valor	Media do efeito percentual mensal
Temperatura mínima (°C)	0	-0,013	0,004	<0.001	-
Pluviosidade (mm)	0	0,009	0,0003	<0.001	-
Crise hídrica (I) ^b	0	0,086	0,032	0.007	33,5%
ARIMA Sazonal	5	-0,584	0,130	<0.001	

Fonte de dados originais: SUSCOZ/SMS/PMSP e Estação Meteorológica/IAG/USP.

^aDefasagem em meses.

^bEfeito sobre a taxa de depósitos de armazenamento de água não ligados à rede de abril de 2014 a março de 2016.

Tabela 4 – Modelo de função de transferência para o **logaritmo natural do número de casos de dengue**, município de São Paulo, Brasil, Janeiro de 2012 a maio de 2016.

Séries de entrada	Lag ^a	Coefficiente	Erro padrão	p-valor	Efeito percentual mensal
Temperatura mínima (°C)	0	0,073	0,0302	0.030	7,3%
Pluviosidade (mm)	0	0,002	0,0006	0.016	0,2%,
Crise hídrica (I) ^b	0	0,686	0,3160	0.002	68,6%
AR	1	0,918	0,0432	<0.001	
AR Sazonal	12	0,876	0,4802	<0.001	

Fonte de dados originais: SUSCOZ/SMS/PMSP e Estação Meteorológica/IAG/USP.

^aDefasagem em meses.

^b Efeito sobre o número de casos de dengue a partir de outubro de 2013 a março de 2016.

OBRIGADO!

emasi@prefeitura.sp.gov.br

Fone (11) 3397-8929

