Índice de vulnerabilidade na região metropolitana de São Paulo (RMSP) relacionado aos extremos do clima e a fatores socioeconômicos e demográficos

María Valverde[1], Andrea Ferraz Young[2] e José Antônio Marengo[1]
[1]Centro de Ciências do Sistema Terrestre – CCST, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.
maria.valverde@cptec.inpe.br, [2]Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP.

RESUMO: Este artigo buscou quantificar a vulnerabilidade socioambiental e climática da RMSP, como conseqüência dos eventos de extremos de chuva, relacionando indicadores sócio-demográficos, econômicos e ambientais. Desse modo, foi gerado um índice que permitiu visualizar as áreas suscetíveis e vulneráveis em períodos de chuvas intensas e com risco de deslizamento.

ABSTRACT: This paper quantified the socio-environmental and climate vulnerability of SPMR as a consequence of extreme rainfall events, linking socio-demographic, economic and environmental indicators. Thus, we generated an index of vulnerability that allowed visualizing the susceptible areas to landslide risk during periods of heavy rainfall.

Introdução

Vulnerabilidade as mudanças climáticas está relacionada ao grau para o qual os sistemas geofísicos e biológicos são susceptíveis a efeitos adversos do clima e eventos extremos (IPCC, 2007b).

Os impactos de episódios excepcionais, em especial os de natureza ambiental/climática, são particularmente contundentes no ambiente urbano, podendo extrapolar a capacidade de absorção de determinada sociedade. O risco de sofrer um desastre é diferenciado, portanto o estrato social guarda relação direta com o tipo e magnitude do impacto, visto que o grau e o tipo de perigo ao qual uma pessoa está sujeita estão fortemente condicionados aos padrões socioeconômicos e demográficos. Atualmente a RMSP, terceira maior área urbana do mundo, com 19.681.716 habitantes vem sofrendo impactos causados por eventos extremos de chuva, como mortes por deslizamentos. As possíveis causas das mudanças observadas nos extremos de chuva e temperatura da região podem estar associadas às mudanças no uso da terra e ao intenso processo de urbanização da RMSP. Nesse contexto, este artigo busca quantificar a vulnerabilidade socioambiental e climática da RMSP, através de um índice (*IV*), como conseqüência dos extremos de chuva.

2. Material e Métodos

Foram utilizados dados de precipitação diária da estação do IAG/Água Funda localizada no município de São Paulo e para o período de 1933-2009. Devido a falta de dados observados sobre a RMSP, adicionalmente utilizou-se a precipitação do modelo climático regional ETA, para a condição de contorno do HadCM3-A1B-std, (Chou et al 2010) e para o clima presente 1961-1990.

O cálculo do índice de vulnerabilidade para a RMSP (IV_{RMSP}) é um indicador sintético e devido à complexidade das diferentes dimensões que as compõe, este utilizou variáveis sócio-econômicas, demográficas, além das climatológicas de extremos de chuva. O IV_{RMSP} segue a metodologia de construção do Índice de Desenvolvimento Humano, do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, já utilizada nos estudos de Confalonieri e Marinho (2007) que analisaram a vulnerabilidade da população e saúde com a variabilidade climática, para o território brasileiro.

A Tabela I descreve os diferentes indicadores utilizados para o cálculo do IV_{RMSP}. Os indicadores climáticos utilizados foram os acumulados máximos de chuvas num dia (RX1day), cinco dias (RX5day) e a freqüência anual de dias com chuvas maior ou igual que 50 mm (R50mm), e foram calculados com os dados diários de precipitação do modelo regional ETA e da estação do IAG.

Tabela I – Descrição dos indicadores socioeconômicos e demográficos, de clima extremo e do meio físico com as suas respectivas componentes

Indicadores (I)	Componentes (C)	Definições	Fonte
Climáticos	RX1day e RX5day	Máxima precipitação acumulada em 1 dia e 5 dias respectivamente (Alagamentos e enchentes)	Alexandre et al (2008)
	R50mm	Número de dias com precipitação >= 50 mm/dia	Alexandre et al (2008)
Socioeconômico e demográfico	Densidade Demográfica	População por km^2	IBGE, 2010
	População	Número de Habitantes	IBGE, 2010
	Taxa Anual de Crescimento	1,1% entre 2000 e 2005	IBGE 2000/2005
	Riqueza	% da população com renda familiar per-cápita menor a 1/2 salário mínimo.	IDB 2004
	Escolaridade	% da população de 15 anos ou mais com menos de 4 anos de estudo	IDB 2004
	Longevidade (expectativa de vida)	Mulher- 74 anos (2000) e 77 anos (2010) Homem -66 anos (2000) e 73 anos (2010)	IBGE 2000-2010
Meio Físico (risco ambiental)	Risco de deslizamento (interpolação declividade, R100mm, uso de solo)	Índice calculado (%) por extensão de área em Km^2 (comparando-se área suscetível ao risco de deslizamento na RMSP, em 2008 e 2030). www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/megacidades.pdf	Projeto Megacidade RMSP (INPE/UNICAMP)

Para facilitar a integração dos diferentes indicadores no cálculo do IV_{RMSP} e devido à falta de informação para cada município optou-se por regionalizar a RMSP em sete sub-regiões, de acordo com a dinâmica econômica, populacional e ambiental, seguindo o estudo de Diniz e Campolina (2007), (Figura 1a e Tabela II). A precipitação derivada do modelo ETA (40x40 km) também seguiu essa regionalização e associou-se um ponto de grade para cada sub-região.

Para o cálculo do IV_{RMSP}, o primeiro passo foi padronizar cada componente (C_p) dos indicadores (I), posteriormente se agruparam todas as componentes para cada indicador (Confalonieri e Marinho (2007):

$$I_i = \frac{1}{n}\left(C_{p1} + C_{p2} + \ldots + C_{pn}\right)$$

Finalmente se agregam os indicadores (socioeconômicos, populacionais, climáticos e ambientais) para resultar num único valor denominado IV_{RMSP}, onde *n* é o número de indicadores utilizados e os ***w*** são os pesos que ponderam por ordem de importância cada indicador, e o qual também pode atribuir o valor 1.

$$IV_{RMSP} = \frac{1}{N}\left(w_{d1} * \mathrm{I}_{\mathrm{d1}} + w_{d2} * I_{d2} + w_{dn} * I_{dN}\right)$$

O IV_{RMSP} varia de 0 a 1, onde 0 representa uma situação de menor vulnerabilidade e 1 representa uma situação de maior vulnerabilidade, permitindo estabelecer uma ordem entre as diferentes sub-regiões da RMSP.

Tabela II - Municípios que compõem as sub-regiões da RMSP

Sub-regiões	Municípios
I - São Paulo	São Paulo
II – ABC	São Bernardo do Campo, Santo Andre, Mauá, Diadema, São Caetano do Sul, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra
III – Moji das Cruzes	Moji das Cruzes, Itaquaquecetuba, Suzano, Ferraz de Vasconcelos, Poá, Biritiba-Mirim, Guararema, Salesópoli
IV – Guarulhos	Guarulhos, Mairiporã, Arujá, Santa Isabel
V- Franco da Rocha	Francisco Morato, Franco da Rocha, Caieiras, Cajamar
VI – Osasco	Osasco, Carapicuíba, Barueri, Itapevi, Jandira, Santana de Parnaíba, Pirapora do Bom Jesus
VII Taboão da Serra	Embu, Taboão da Serra, Cotia, Itapecerica da Serra, Embu – Guaçu, Vargem Grande Paulista, Juquitiba, São Lourenço da Serra

3. Resultados e discussão

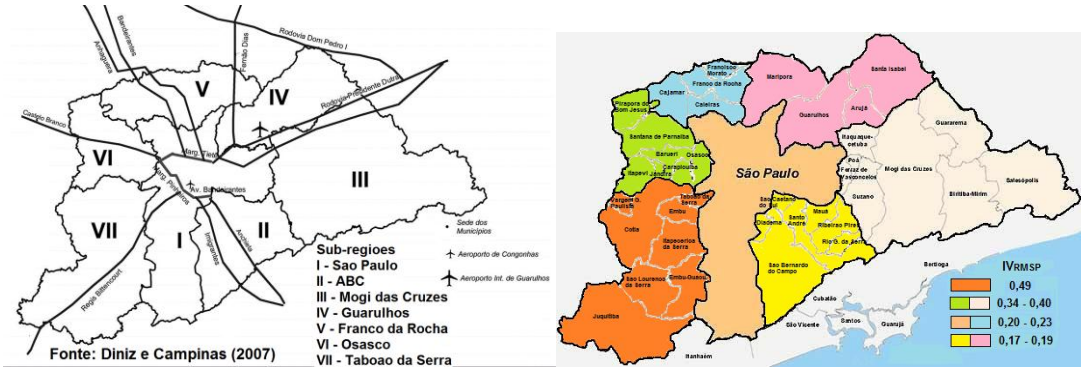
Os indicadores de chuvas extremas calculados na estação do IAG mostraram que na climatologia (1933–2009) o índice RX1day foi de 145.9 mm e RX5day de 226.3 mm. Por outro lado, a freqüência máxima anual de dias com chuvas ≥ 50 mm (R50mm) foi de 10 dias. Estas informações serviram para o ajuste dos indicadores climáticos derivados do modelo ETA.

A Tabela III mostra os *IV* resultantes dos indicadores socioeconômicos - demográficos, climáticos extremos e de meio físico, que agruparam as suas componentes padronizadas correspondentes, e o IV_{RMSP} total para cada sub-região da RMSP. Adicionalmente incluiu-se também o IV_{mf} de risco por deslizamento para 2030 (Nobre et al 2010). O IV_{sed} mostra que a vulnerabilidade socioeconômica e demográfica da RMSP entre as sub-regiões não apresentam grandes diferenças. Embora o município de São Paulo seja considerado o núcleo regional mais desenvolvido e elitizado, este não escapa dos resultados que o apontam dentre das quatro sub-regiões com maior vulnerabilidade depois de Guarulhos, Mogi das Cruzes e Franco da Rocha. Por outro lado, a sub-região do ABC apresentou o menor $IV_{sed.}$ Nota-se que na sub-região de Mogi das Cruzes o IV_{mf} em 2008 aponta um risco elevado de deslizamento, que também associa-se com o alto valor de IV_{sed} . No entanto, esta

mesma sub-região não mostrou uma alta vulnerabilidade para a ocorrência de chuvas extremas, pelo que se deduz que o risco de deslizamento pode estar associado principalmente com a distribuição populacional em áreas que não devem ser habitadas. Atualmente a maioria das áreas urbanas da RMSP ocupam grande parte dos terrenos da planície fluvial e de morros com processo de urbanização já consolidado e solos extremamente impermeabilizados. Estes terrenos são mais suscetíveis a processos de enchentes, alagamentos e enxurradas, processos de escorregamentos em virtude da intensificação das chuvas e do tipo de uso do solo associado. Sub-regiões com baixo valor de vulnerabilidade á risco de deslizamento não necessariamente associaram-se com uma menor vulnerabilidade á chuvas extremas, somente na sub-região de Guarulhos encontrou-se uma relação direta. No caso da sub-região de Taboão da Serra, o indicador de chuva extrema é 1 (um) e o aumento do risco de deslizamento é significativo entre 2008 e 2030 (passando de 0,08 para 0,30), indicando que a situação poderá se agravar. Já no caso de Guarulhos, apesar de não termos um forte indicador de chuva extrema, temos um indicador de vulnerabilidade socioeconômico e demográfico significativo (0,50) associado a um aumento do risco de deslizamento (de 0,01 para 0,15) provavelmente causado pela ocupação de terrenos mais íngremes inadequados para urbanização. O mesmo processo parece acontecer com Franco da Rocha. Como se observa, os indicadores de chuvas extremas não podem ser analisados isoladamente, é fundamental a integração das informações. O $\boldsymbol{IV_{RMSP}}$ que integra todos os indicadores e suas vulnerabilidades é mostrado no mapa da Figura 1b. Na integração o IV_{pe} teve o menor peso, uma vez que este foi derivado do modelo ETA. Observa-se que a sub-região de Taboão da Serra apresentou o maior valor do $\boldsymbol{IV_{RMSP}}$ em relação as outras sub-regiões. Entretanto, os riscos de deslizamento se intensificarão em todos os setores em 2030, em virtude da ocupação de terrenos com declividade mais acentuada. Como os indicadores socioeconômicos e demográficos atuais indicaram valores relativamente significativos, podemos supor que se esta situação se perpetuar até 2030, teremos um número maior de áreas íngremes ocupadas com populações cada vez mais vulneráveis ao risco de deslizamento.

Tabela III – Índices de Vulnerabilidade para as sub-regiões da RMSP

Sub-regiões da RMSP	**IV Socioeconômico e demográfico (IV_{sed})**	**IV de chuva extrema (IV_{pe})**	**IV do meio físico (risco de deslizamento) (IV_{mf})**		$\boldsymbol{IV_{RMSP}}$
			2008	**2030**	
Setor I – São Paulo	0,45	0,09	0,05	0,12	0,20
Setor II - ABC	0.34	0,16	0,01	0,19	0,17
Setor III – Mogi das Cruzes	0,58	0,22	0,41	0,42	0,40
Setor IV - Guarulhos	0,50	0,06	0,01	0,15	0,19
Setor V – Franco da Rocha	0,57	0,08	0,03	0,35	0,23
Setor VI - Osasco	0,38	0,63	0,01	0,08	0,34
Setor VII – Taboão da Serra	0,39	1	0,08	0,30	0,49



a) b)

Fig. 1 – (a) Regionalização da RMSP em setores de acordo com a dinâmica econômica, populacional e ambiental e (b) mapa do $\boldsymbol{IV_{RMSP}}$ da RMSP.

5. Considerações Finais

Este estudo quantificou a vulnerabilidade na RMSP relacionando indicadores socioeconômicos, climáticos e ambientais tendo como base eventos extremos de chuva para o clima presente. Futuros estudos utilizaram projeções futuras do clima, assim como uma base de dados observados mais extensa, com o intuito de aprimorar o $\boldsymbol{IV_{RMSP}}$ e avaliar o seu comportamento futuro.

Índices de vulnerabilidade podem servir como ferramentas de apoio aos tomadores de decisões na definição de medidas preventivas, de mitigação e/ou adaptação da RMSP.

6. Referências Bibliográficas

- Alexander, L. V., X. Zhang, T. C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, P. Ambenje, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, J. L. Vazquez-Aguirre, 2005: Global observed changes in daily climatic extremes of temperature and precipitation. J. Geophys. Res., 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.

- Chou. S. C, J. Marengo, A. Lyra, G. Sueiro, J. Pesquero, L. M. Alves, G. Kay, R. Betts D. Chagas, J. L Gomês, J, Bustamante, P. Tavares, 2010: Downscaling of South America present climatic driven by 4-member HadCM3 runs, submitted to Climatic Dynamics.

- Confalonieri, U. E e Marinho, D.P.; Rodriguez, E.R.R, 2007. Integrating data for the Assessment of National Vulnerabilities to the Health Impacts of Climate Changes: A novel methodological Approach and a Case Study from Brazil (no prelo).

- Diniz, C. C.; Campolina, B. A região metropolitana de São Paulo: reestruturação, reespacialização e novas funções. EURE, Santiago de Chile, v. 33, n. 98, abr. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612007000100002&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: ago. 2008.

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE IPCC 2007b: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability-Working Group II Contribution to the IPCC Fourth Assessment Report. Brussels, April 2007.