

CLIMA, VARIABILIDADE, MUDANÇAS CLIMÁTICAS E UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MAPEAMENTO DE DANOS PROVENIENTES DE EVENTOS SEVEROS

*Iára Regina Nocentini ANDRÉ¹
Antonio Carlos TAVARES²
Thiago Salomão de AZEVEDO³
Nelson Jesus FERREIRA⁴
Renato Gouvêa MUTTI⁵
Georgia PELLEGRINA⁶
Rodrigo Pucci da CONCEIÇÃO⁷
João Rafael Correa dos SANTOS⁸
Natália Martorano Suarez PARDO⁹
Mayra de Oliveira MELO¹⁰*

Resumo

Este trabalho discorre sobre as concepções de clima, variabilidade climática, mudanças climáticas e eventos severos. Para a espacialização dos danos provocados por estes eventos, registrados pelo Departamento de Defesa Civil, propõe-se um procedimento metodológico com o uso do Sistema de Informações Georreferenciadas EstatCart -IBGE e ArcView GIS. O mapeamento das áreas atingidas e os tipos de impactos, ao longo de um determinado período, contribuirão para determinar as possíveis áreas de risco e servir de suporte logístico para os órgãos que trabalham com a assistência aos vitimados.

Palavras-Chave: Clima. Tempestades. Sistema de Informação Geográfica. Mapeamento. ArcView GIS. EstatCart –IBGE.

Abstract

Climate, Climate Variability, Climate Change And Methodological Procedure to Mapping Occurences of the Civil Damages Deriving of Severe Events

This paper presents concepts of climate, climate variability, climate change and severe events. For the mapping of the damages affected by these events, registered by the Civil Defense Department, the proposal is a methodological procedure using Georeferenced System of Information ArcView GIS and EstatCart-IBGE GIS. The mapping of the affected areas and types of environmental impacts, during a certain period of time, will contribute to determine the potential risk areas and serve as a logistic support for the institutions that work on assisting the victims.

Key words: Climate. Storms. Geographic Information Systems. Mapping. ArcView GIS. EstatCart - IBGE.

¹ Departamento de Geografia, IGCE – UNESP, iaranocentini@gmail.com

² Departamento de Geografia, IGCE – UNESP, atavares@rc.unesp.br

³ Doutor em Geografia, IGCE – UNESP, azevedots@gmail.com

⁴ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, nelson@cptec.inpe.br

⁵ Estagiário do Laboratório de Climatologia, IGCE – UNESP, rntw@hotmail.com

⁶ Instituto de Pesquisas Meteorológicas, UNESP, georgia@ipmet.unesp.br

⁷ Estagiário de Iniciação Científica, IGCE – UNESP, rodrigopucci@yahoo.com.br

⁸ Estagiário de Iniciação Científica, IGCE – UNESP, joaorcsantos@hotmail.com

⁹ Estagiária de Iniciação Científica, IGCE – UNESP, natalia_martorano@hotmail.com

¹⁰ Estagiária de Iniciação Científica, IGCE – UNESP, mayrinhamelo@yahoo.com.br

O SIGNIFICADO DE CLIMA

A concepção climática de Sorre (1951, p.13), para quem o clima era "o ambiente atmosférico constituído pela série de estados da atmosfera acima de um lugar em sua sucessão habitual", norteou, na segunda metade do século XX, a maioria dos estudos de climatologia realizados por geógrafos no Brasil, graças à influência exercida pelo professor e pesquisador Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, que, em seus escritos e nas orientações prestadas aos seus discípulos, desenvolveu e divulgou as idéias preconizadas por este cientista francês. A importância de Monteiro na disseminação da definição de Sorre está muito bem exposta no trabalho elaborado por Zavattini (2000) a respeito do desenvolvimento e das perspectivas da climatologia geográfica brasileira.

A idéia de Sorre dá ênfase aos estados da atmosfera, isto é, às diversas combinações que caracterizam o tempo meteorológico, entendido, portanto, como a essência do clima. Seres vivos, processos morfogênicos, regime dos rios e atividades exercidas pelo homem estão afetos às situações atmosféricas vigentes. É a intensidade dos episódios pluviais que propicia a erosão do solo ou comanda a abertura da comporta das barragens. Sente-se calor ou frio diante do tipo de tempo reinante. A série de estados atmosféricos citada por Sorre pode ser interpretada como diversos tipos de tempo, que se encadeiam segundo uma sucessão habitual e se refletem na disposição dos climas pelas diferentes zonas do globo.

Tomando como ilustração o clima tropical, vê-se que ele é caracterizado pela presença de um período chuvoso, que abrange os meses de primavera e verão, quando há aumentos da nebulosidade e da temperatura, e por outro seco, que compreende as estações de outono e inverno, ocasião em que o céu é limpo e há declínios térmicos. Na área mediterrânea as chuvas ocorrem no inverno sob a ação das frentes frias e o verão, graças ao predomínio dos anticiclones subtropicais, é caracterizado como uma estação seca. A distribuição dos tipos de tempo, ao longo do ano, caracteriza a sucessão habitual dos estados atmosféricos ou o ritmo climático, que, para Machado (1988, p.8) é "uma oscilação em que sucessivos máximos e mínimos ocorrem, aproximadamente, em intervalos de tempo iguais", sendo a oscilação climática, segundo a Organização Meteorológica Mundial (1966, p.27) "uma flutuação em que a variável tende a se mover, gradual e lentamente, entre máximos e mínimos sucessivos".

Todavia, os dados registrados em um ano não são repetidos no outro. Eles podem ficar próximos de um valor esperado, muito aquém dele ou superá-lo em demasia. Esse fato é facilmente percebido quando se lida com as precipitações, pois a chuva pode abundar no período tido como seco e falhar na época tida como chuvosa. Tais irregularidades estão vinculadas à circulação atmosférica e caracterizam a variabilidade do clima.

Monteiro também teve sua atenção voltada para irregularidades do ritmo climático, notadas, principalmente, na distribuição das chuvas no Estado de São Paulo e nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Elas foram claramente mostradas nos estudos sobre a dinâmica climática e as chuvas no estado paulista (MONTEIRO, 1973) e nas relações da Frente Polar Atlântica com as chuvas de inverno na fachada sul-oriental brasileira (MONTEIRO, 1969). Segundo suas palavras,

atendo-se apenas ao último decênio podemos encontrar em São Paulo uma claríssima ilustração dessas irregularidades. O ano de 1963 caracterizou-se pela ocorrência de uma seca acentuada no Estado, culminando com o esvaziamento quase completo dos reservatórios do planalto paulistano, criando não só problemas de abastecimento de água à cidade, como atingindo limites críticos à energia elétrica no parque industrial na área metropolitana. Já no ano seguinte, com verões surpreendentemente chuvosos, sanaram-se as deficiências hídricas, atingindo os reservatórios a capa-

cidade total. Os verões de 1966 e 1967, não apenas em São Paulo, mas no sudeste brasileiro, deixaram um registro nefasto pelos episódios calamitosos de que se revestiram. Ainda estão vivos na memória os episódios de Caraguatatuba, Serra das Araras e Guanabara. Já o verão de 1967/68 registrou deficiências de chuva em meses normalmente mais chuvosos. Essas deficiências prolongaram-se pelo ano seguinte, refletindo-se nos reservatórios da metrópole. Em 1970 o verão registrou uma intensificação das chuvas no Planalto Atlântico, com episódios calamitosos em janeiro e fevereiro no domínio da Grande São Paulo (MONTEIRO, 1971, p.1)

Christofoletti (1991, p.18) denominou de variabilidade do clima “a maneira pela qual os parâmetros climáticos variam no interior de um determinado período de registro”. A variabilidade climática poderá ser mais bem observada quanto maior for o período de dados, pois ela é fruto das características dinâmicas da circulação atmosférica e está estreitamente vinculada à concepção de intervalos de recorrência. Assim sendo, se as características zonais respondem pelas feições do ritmo climático, a circulação atmosférica, em estreita interação com os aspectos geográficos de uma determinada área, é a responsável pela variabilidade do clima.

A variabilidade deve, portanto, estar contida na definição de clima, pois é inerente a ele e tem sido, desde muito, objeto de investigação nas pesquisas em climatologia. Assim sendo, Tavares (2001) definiu clima como “o ambiente atmosférico de determinada área, cujos atributos são dotados de um ritmo e de uma variabilidade gerados pela sucessão habitual dos tipos de tempo que nela prevalecem”.

TENDÊNCIAS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Machado (1988, p.8) chama de tendência climática “uma alteração caracterizada por um regular aumento ou decréscimo dos valores médios verificado durante anos de observação”. A tendência não é uma mudança linear dos atributos ao longo do tempo cronológico porque a circulação atmosférica permanece respondendo pela continuidade da variabilidade climática, mas ela constitui uma alteração suave, claramente marcada pelo crescimento ou diminuição dos valores ao longo do período enfocado. O crescimento ou diminuição dos valores médios dos atributos climáticos, criando uma tendência, tem sua gênese na mudança dos fluxos de energia e matéria no âmbito dos sistemas abertos, que pode ser desencadeada por fatores diversos. A tendência climática pode levar à mudança climática, ao se estabelecer novo estado de equilíbrio no sistema, com os atributos se ajustando aos fluxos de matéria e energia.

Os geossistemas, que segundo Christofoletti (1993, p.19) “representam a organização espacial resultante da interação dos elementos físicos e biológicos da natureza (clima, topografia, rochas, águas, vegetação, animais, solos)”, trocam energia e matéria com outros sistemas participantes de um universo interativo. Na configuração do espaço são importantes os sistemas sócio-econômicos, dos quais fazem parte, por exemplo, as cidades, as tipologias de uso do solo rural e os processos inerentes aos aspectos visíveis da ocupação do território. Mudanças nos geossistemas podem gerar modificações nos sistemas sócio-econômicos e vice-versa. Como a formatação dos espaços urbano e rural tem gerado alterações rápidas nos fluxos de matéria e energia no âmbito dos sistemas sócio-econômicos, com repercussão nos geossistemas, é possível a ocorrência de tendências e mudanças climáticas com essa origem e com amplas consequências retro-alimentadoras no universo.

Como tendências e mudanças climáticas se processam paulatinamente em razão dos ajustes aos estímulos propiciados pelas alterações nos fluxos de matéria e energia, os eventos extremos inerentes à variabilidade do clima, no limiar dos processos induzidos, estarão sujeitos tanto às condições pretéritas quanto as que começarem a se estabelecer, de tal forma que poderão acarretar, com maior frequência, desastres ambientais vinculados aos fenômenos atmosféricos.

Diante da elevação das temperaturas globais, é possível esperar um aumento das precipitações, principalmente na forma de tempestades, o que aumentará o risco de enchentes em muitas áreas. Na zona intertropical são previstas ocorrências de estiagens e de enchentes de acordo com os ajustes da circulação atmosférica, o que, aliás, já é típico dos dias atuais. Com o aquecimento da superfície do mar, provavelmente, episódios do fenômeno El Niño se tornem mais frequentes, alterando a circulação na célula de Walker e respondendo por modificações nos regimes pluviométricos. Sabe-se que as temperaturas da água do mar favorecem a formação dos ciclones tropicais, que são abundantes no Atlântico Norte, no sudeste e noroeste do Pacífico e no Índico. A temperatura de 26,5° C é um valor que quando superado intensifica o surgimento dessas fortes depressões barométricas. Os ciclones mais devastadores têm ocorrido com temperaturas da água do mar entre 28° C e 29° C e, com tais valores, há casos em que a pressão chega a cair abaixo de 900 hPa e o vento a superar 250 km/h.

Além das questões pertinentes à escala global, é imprescindível considerar as mudanças ocorridas em áreas mais restritas, como as que se verificam nas cidades. Há três fatores que são, comumente, invocados para explicar o aumento das chuvas e, conseqüentemente, das tempestades sobre as áreas urbanas. O primeiro deles é a formação de ilhas de calor. A existência de temperaturas mais elevadas junto aos centros urbanos favorece o desencadeamento de movimentos convectivos que são essenciais ao crescimento das nuvens e formação das precipitações. O efeito de obstáculo provocado pelas cidades é outra das causas apontadas. A rugosidade, propiciada pela diversidade de edificações e de usos do solo, intensifica o atrito, diminuindo a velocidade dos ventos e criando uma área de convergência. A ascensão do ar é incentivada quando é adicionada a ação da ilha de calor ao efeito obstáculo. Como todo sistema atmosférico tem sua passagem pela cidade retardada em função do atrito, as atuações dos sistemas instáveis e chuvosos darão, à área urbana, chuvas maiores do que as ocorridas nas áreas rurais adjacentes. Os produtos oriundos das emanações que poluem o ar constituem o terceiro fator interveniente no incremento das precipitações. A emissão de grandes quantidades de vapor de água pode incentivar o acréscimo das chuvas, o que depende também da existência concomitante de núcleos higroscópicos. Nos efluentes de refinarias, por exemplo, são encontrados nitratos, que constituem núcleos higroscópicos maiores e ativos, responsáveis pela formação de grandes gotículas. A existência de gotas de vários tamanhos e a captura das menores pelas maiores, pelo processo de coalescência, propiciam o crescimento das nuvens e aumentam as chances de eventos severos.

Segundo Doswell e Bosart (2000), a definição de evento severo é tipicamente arbitrária, pois sua classificação, como tal, ocorre quando ele excede algum critério estipulado, que, todavia, pode variar de acordo com as condições geográficas ou com os objetivos dos pesquisadores. Sistemas convectivos podem aparecer em várias condições sinóticas. Todos têm em comum a capacidade de gerar eventos severos específicos, com diferenças determinadas por suas origens, pelas características das massas de ar envolvidas e, em muitas áreas, por outros fatores, como o efeito orográfico.

Contudo, a concepção de evento severo considerada neste trabalho foi a de uma tempestade capaz de produzir granizo com diâmetro e" 2 cm; e/ou rajadas de vento com velocidade e" 90 km/h; e/ou tornados e gerar altas taxas de precipitação (JOHNS; DOSWELL, 1992; MILLS; COLQUHOUN, 1998).

Diante destas premissas, o estudo e o mapeamento dos eventos climáticos extremos, que, segundo Marcelino (2003), podem ser agrupados nas formas meteóricas hídricas (chuva, neve e nevoeiro), mecânicas (tornados) e elétricas (raios e relâmpagos), são cada vez mais importantes, pois eles geram inúmeros impactos sócio-econômicos e/ou ambientais, como perdas materiais e de vidas humanas. A espacialização das áreas atingidas pelos diferentes fenômenos e dos tipos de impactos decorrentes, ao longo de um determinado período, contribuirá para determinar possíveis áreas de risco, servir de suporte logístico para os órgãos que trabalham com a assistência aos vitimados e contribuir com a previsão meteorológica nos sistemas de alerta. Desta forma, este trabalho propõe um procedimento metodológico para espacializar as ocorrências e danos dos eventos de tempo severo no Estado de São Paulo. Para demonstração foram utilizados os dados dos meses de janeiro de 2004 a 2006, registrados pela Defesa Civil.

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A elaboração do banco de dados sobre eventos severos foi efetuada por Geórgia Pellegrina, do IPMet/UNESP – Bauru, a partir de informações coletadas sobre todos os municípios paulistas, junto à Defesa Civil do Estado de São Paulo, contendo danos ocorridos, fenômenos atmosféricos que os propiciaram, localização, data e hora dos sinistros.

Originalmente, segundo a forma como as informações foram transmitidas pela Defesa Civil, os fenômenos atmosféricos foram catalogados em oito e os danos catalogados em 35 tipos diferentes, conforme tabela 1.

De acordo com a Teoria das Classificações, os dados foram sistematizados e inseridos em classes hierarquicamente organizadas de acordo com os atributos escolhidos. Num primeiro nível optou-se pela ocorrência ou não de danos (materiais e ou humanos), provenientes de eventos atmosféricos, na ordenação das informações. Assim sendo, para a demonstração do procedimento metodológico, os mapas representam, no nível mais genérico da classificação, os municípios paulistas que foram afetados por qualquer fenômeno meteorológico nos meses de janeiro de 2004, 2005 e 2006.

Para o desenvolvimento da metodologia proposta foi adotada, como plano de informação espacial, a base de informações municipais do Estado de São Paulo (figura 1), no formato *shapefile* do Sistema de Informações Georreferenciadas EstatCart, desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004). Esta base de dados foi exportada para o Sistema de Informação Geográfica ArcView (ESRI, 1996), onde os dados sobre os danos (materiais e ou humanos) foram inseridos.

Tabela 1 – Tipos de eventos atmosféricos severos e danos causados segundo catalogação efetuada pela Defesa Civil do Estado de São Paulo

Eventos Atmosféricos Severos	Danos
Granizo	Acidente com aeronave/aeroporto fechado
Ventos fortes/vendaval	Acidente com carro
Chuvas fortes	Acidente com trem
Raios	Afogamento dentro de residência
Tornados	Alagamentos
Ciclones	Congestionamento/interdição de via pública
Frentes frias/chuvas contínuas	Corte no fornecimento de energia e água
Chuvas moderadas	Danificação em pavimentação
	Danos causados por raio
	Danos em pontes
	Danos em veículos
	Desabamentos/rachadura/danos em imóveis
	Desabrigados
	Desalojados
	Desbarrancamento da margem do rio
	Deslizamento de terra
	Destelhamentos
	Destruição de plantação e de estrada rural
	Enchentes
	Erosão/buraco
	Escorregamento de encostas
	Feridos
	Inundação em via pública
	Inundações litorâneas
	Pessoa arrastada pela enxurrada
	Queda de árvores
	Queda de outdoor
	Queda de barreira
	Queda de muro
	Queda de poste
	Queda de torres
	Rompimento da rede de água e esgoto
	Rompimento de barragem
	Transbordamento de rios e córregos
	Vítimas fatais



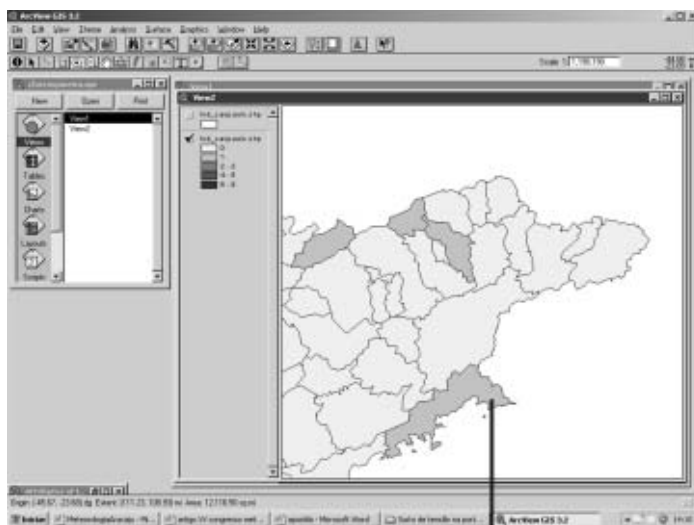
Figura 1 – Base de Dados dos Municípios do Estado de São Paulo

Fonte: IBGE (2004).

O SIG ArcView possui um formato de armazenamento de dados vetoriais baseado em arquivos, isto é, os atributos dos elementos geográficos são guardados em um banco de dados denominado de tabela de atributos. Cada linha desta tabela contém as informações descritivas de uma única feição e as colunas ou campos definidos são os mesmos para cada linha (CÂMARA; MONTEIRO, 2004).

A ligação entre as feições geográficas e a tabela de atributos é garantida pelo modelo geo-relacional, isto é, um identificador único efetua a ligação entre ambos, mantendo uma correspondência entre o registro espacial e o registro de atributos. Segundo Câmara e Monteiro (2004), estabelecida esta conexão, informações podem ser armazenadas ou apresentadas sobre o mapa. (figura 2).

Como ilustração, neste trabalho, a tabela de atributos foi alimentada com os dados dos impactos causados por fenômenos atmosféricos registrados pela Defesa Civil, no Estado de São Paulo, nos meses de janeiro de 2004, 2005 e 2006. Isso permitiu gerar três mapas temáticos com a localização dos municípios que sofreram danos durante os meses mencionados, que, superpostos, resultaram num mapa temático, onde, além dos lugares, há o registro do número de ocorrências (figura 3).



Feições Geográficas

Nome	id	Nome	area_TOT	area_TOT	area_TOT	area_TOT
Polygona_256002	1	União Branca	0	0	0	0
Polygona_256003	2	Monte Lulim	0	0	0	0
Polygona_256004	3	Cachoeira	0	0	0	0
Polygona_256005	4	União Industrial	0	0	0	0
Polygona_256006	5	Centro do Lulim	0	0	0	0
Polygona_256007	6	Cachoeira	0	0	0	0
Polygona_256008	7	União	0	0	0	0
Polygona_256009	8	União	0	0	0	0
Polygona_256010	9	União	0	0	0	0
Polygona_256011	10	União	0	0	0	0
Polygona_256012	11	União	0	0	0	0
Polygona_256013	12	União	0	0	0	0
Polygona_256014	13	União	0	0	0	0
Polygona_256015	14	União	0	0	0	0
Polygona_256016	15	União	0	0	0	0
Polygona_256017	16	União	0	0	0	0
Polygona_256018	17	União	0	0	0	0
Polygona_256019	18	União	0	0	0	0
Polygona_256020	19	União	0	0	0	0
Polygona_256021	20	União	0	0	0	0
Polygona_256022	21	União	0	0	0	0
Polygona_256023	22	União	0	0	0	0
Polygona_256024	23	União	0	0	0	0
Polygona_256025	24	União	0	0	0	0
Polygona_256026	25	União	0	0	0	0
Polygona_256027	26	União	0	0	0	0
Polygona_256028	27	União	0	0	0	0
Polygona_256029	28	União	0	0	0	0
Polygona_256030	29	União	0	0	0	0
Polygona_256031	30	União	0	0	0	0
Polygona_256032	31	União	0	0	0	0
Polygona_256033	32	União	0	0	0	0
Polygona_256034	33	União	0	0	0	0
Polygona_256035	34	União	0	0	0	0
Polygona_256036	35	União	0	0	0	0
Polygona_256037	36	União	0	0	0	0
Polygona_256038	37	União	0	0	0	0
Polygona_256039	38	União	0	0	0	0
Polygona_256040	39	União	0	0	0	0
Polygona_256041	40	União	0	0	0	0
Polygona_256042	41	União	0	0	0	0
Polygona_256043	42	União	0	0	0	0
Polygona_256044	43	União	0	0	0	0
Polygona_256045	44	União	0	0	0	0
Polygona_256046	45	União	0	0	0	0
Polygona_256047	46	União	0	0	0	0
Polygona_256048	47	União	0	0	0	0
Polygona_256049	48	União	0	0	0	0
Polygona_256050	49	União	0	0	0	0
Polygona_256051	50	União	0	0	0	0
Polygona_256052	51	União	0	0	0	0
Polygona_256053	52	União	0	0	0	0
Polygona_256054	53	União	0	0	0	0
Polygona_256055	54	União	0	0	0	0
Polygona_256056	55	União	0	0	0	0
Polygona_256057	56	União	0	0	0	0
Polygona_256058	57	União	0	0	0	0
Polygona_256059	58	União	0	0	0	0
Polygona_256060	59	União	0	0	0	0
Polygona_256061	60	União	0	0	0	0
Polygona_256062	61	União	0	0	0	0
Polygona_256063	62	União	0	0	0	0
Polygona_256064	63	União	0	0	0	0
Polygona_256065	64	União	0	0	0	0
Polygona_256066	65	União	0	0	0	0
Polygona_256067	66	União	0	0	0	0
Polygona_256068	67	União	0	0	0	0
Polygona_256069	68	União	0	0	0	0
Polygona_256070	69	União	0	0	0	0
Polygona_256071	70	União	0	0	0	0
Polygona_256072	71	União	0	0	0	0
Polygona_256073	72	União	0	0	0	0
Polygona_256074	73	União	0	0	0	0
Polygona_256075	74	União	0	0	0	0
Polygona_256076	75	União	0	0	0	0
Polygona_256077	76	União	0	0	0	0
Polygona_256078	77	União	0	0	0	0
Polygona_256079	78	União	0	0	0	0
Polygona_256080	79	União	0	0	0	0
Polygona_256081	80	União	0	0	0	0
Polygona_256082	81	União	0	0	0	0
Polygona_256083	82	União	0	0	0	0
Polygona_256084	83	União	0	0	0	0
Polygona_256085	84	União	0	0	0	0
Polygona_256086	85	União	0	0	0	0
Polygona_256087	86	União	0	0	0	0
Polygona_256088	87	União	0	0	0	0
Polygona_256089	88	União	0	0	0	0
Polygona_256090	89	União	0	0	0	0
Polygona_256091	90	União	0	0	0	0
Polygona_256092	91	União	0	0	0	0
Polygona_256093	92	União	0	0	0	0
Polygona_256094	93	União	0	0	0	0
Polygona_256095	94	União	0	0	0	0
Polygona_256096	95	União	0	0	0	0
Polygona_256097	96	União	0	0	0	0
Polygona_256098	97	União	0	0	0	0
Polygona_256099	98	União	0	0	0	0
Polygona_256100	99	União	0	0	0	0

Tabela de Atributos

Figura 2 – Ilustração da Representação das Informações Descritivas do Arc View

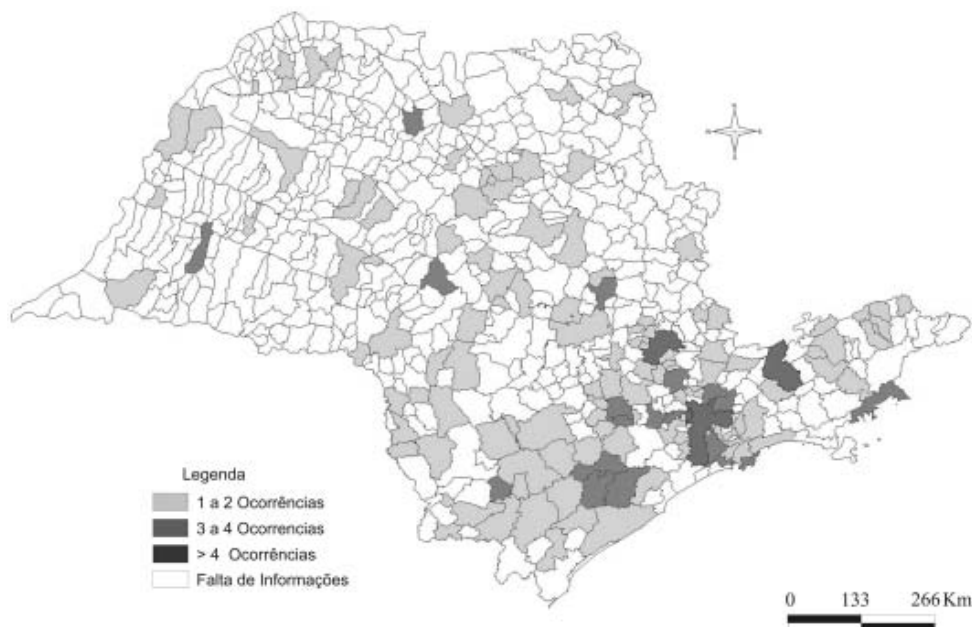


Figura 3 – Mapa Total das Ocorrências de Eventos Severos em Janeiro de 2004 a 2006

RESULTADOS

A metodologia proposta está apta a produzir subsídios extremamente importantes ao planejamento da ocupação dos espaços urbanos e rurais e às decisões dos órgãos vinculados à Defesa Civil.

Tendo em vista que a espacialização está associada a um banco de dados dbf, que permite fazer associações entre o mapa e o banco de dados, diretamente na tela do computador, como ilustra a figura 4, é possível conhecer, imediatamente, as consequências dos eventos extremos meteorológicos que ocorreram em determinado município, e em outros adjacentes, durante os períodos dotados de informações armazenadas. Com isso é possível saber as principais áreas e os tipos de risco a que elas estarão sujeitas, o que é uma informação estratégica diante das possibilidades de intensificação dos episódios impactantes.

O mapa exposto na figura 3 mostra que, ao menos no mês de janeiro, no período de 2004 a 2006, o sul e o leste do Estado de São Paulo, incluindo as bacias do Ribeira de Iguape e do Rio Paraíba do Sul, a área metropolitana da capital paulista e a Baixada Santista, foram as regiões que tiveram um número maior de danos provocados por eventos atmosféricos extremos.

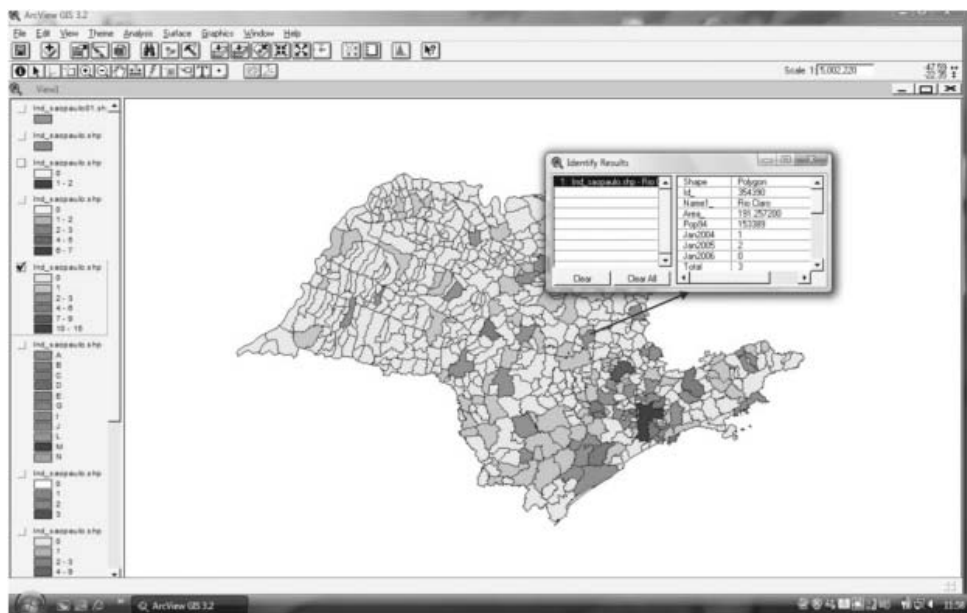


Figura 4 – Associação entre o Mapa (shapefile) e o banco de dados (dbf)

Durante o verão, com frequência, os sistemas frontais permanecem estacionários ou semi-estacionários no sudeste brasileiro, produzindo abundantes e intensas precipitações, sobretudo nas áreas mais próximas do Atlântico, onde, fruto dos contrastes térmicos entre massas de ar tropicais e extratropicais e do maior teor de vapor de água na atmosfera, as atividades frontogênicas se prolongam. Pelo interior, o aquecimento continental, típico do verão, acarreta uma rápida tropicalização do ar polar, criando, com brevidade, situações de frontólise. Com as frentes se dissipando de forma mais rápida e com menos umidade no ar, as chuvas são menos duradouras e menores as chances de tempestades. Todavia, todo o estado paulista está sujeito às precipitações extremas por ocasião das atuações da Zona de Convergência do Atlântico Sul, que traz para as porções meridionais do território brasileiro a umidade oriunda da Amazônia Ocidental, haja vista, por exemplo, a chuva ocorrida em Rio Claro – SP nos dias 28 e 29 de janeiro de 2005. No dia 28 a Massa Equatorial Continental se moveu da Amazônia em direção ao sul, gerando intensa nebulosidade pelo interior do continente e constituindo uma frente quente sobre os estados do Mato Grosso do Sul e São Paulo. A este sistema se juntou outra frente que, a partir do litoral baiano, recuou, sobre o oceano, em direção ao trópico, formando extensa zona de convergência. Na oportunidade a chuva, em Rio Claro, oscilou de 245 mm, na região norte da cidade, até 145 mm na extremidade sul. Com isso a cidade recebeu em poucas horas, haja vista que a chuva foi concentrada, cerca de 6 bilhões e 594 milhões de litros de água. Como comparação, o volume de água precipitado na cidade de Rio Claro foi equivalente ao consumo de toda a Região Metropolitana de São Paulo por 31,9 horas. Isto, em área predominantemente impermeabilizada, em circunstâncias desfavoráveis à evaporação e numa superfície, onde o sistema viário escoar a água de modo eficiente e rápido para as áreas deprimidas, gerou enchentes e criou um caos urbano (TAVARES; SILVA, 2008).

Além das peculiaridades da circulação atmosférica, é preciso lembrar o efeito da orografia, pois é indiscutível a influência das Serras do Mar, da Mantiqueira e de Paranapiacaba

na intensificação da pluviosidade na porção leste de São Paulo, principalmente nas áreas voltadas para o Atlântico, em razão de acentuarem a convergência no âmbito dos sistemas instáveis.

A ação do homem tem contribuído para que os danos oriundos de situações atmosféricas severas sejam ativados na área metropolitana de São Paulo, onde a impermeabilização da superfície e a alta densidade da drenagem urbana se associam, freqüentemente, à construção de edifícios e de avenidas sobre várzeas ou cursos de água canalizados, e nas vertentes íngremes do Planalto Atlântico, onde as declividades acentuadas e a retirada da vegetação natural facilitam o escoamento superficial e os processos de deslizamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP/INPE/APLBA pelo apoio financeiro e pelo desenvolvimento desta pesquisa que está vinculada ao Projeto ADAPT - Tempestades: Desenvolvimento de um sistema dinamicamente adaptativo para a produção de alertas para a região Sul/Sudeste.

REFERÊNCIAS

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. U. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: G. CÂMARA *et al.* (Ed.) **Introdução à ciência da geoinformação**, São José dos Campos: INPE, 2004, cap. 2, p. 1 – 35. Disponível em: www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html. Acesso em março de 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. Implicações geográficas relacionadas com as mudanças climáticas globais. **Boletim de Geografia Teórica**, Rio Claro, v. 23, p. 18-31, 1993.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. **Estudo sobre a sazonalidade da precipitação na Bacia do Piracicaba**. São Paulo, 1991. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1991.

DOSWELL III, C. A.; BOSART, L. F. Extratropical synoptic-scale processes and severe convection. **Severe convective storms**. Washington DC: The American Meteorological Society, 2000, 2, p. 1 - 103

JOHNS, R. H.; DOSWELL III, C. A. Several local storms forecasting. **Weather and Forecasting**. Atlanta: v. 7, p. 588 – 612, 1992.

ESRI **Using ArcView GIS**. Redlands: Esri, 1996, 350p.

IBGE Sistema de Informações Georreferenciadas **EstatCart**. Rio de Janeiro, 2004 – Cd-Rom

MACHADO, S. M. **Variações climáticas**. Monografia de Meteorologia e Geofísica, n. 4. Lisboa: Serviço de Meteorologia – Divisão de Hidrometeorologia, 1988.

MARCELINO, I. P. V. **Análise episódica de tornados em Santa Catarina**: Caracterização sinótica e mineração de dados. 2003. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

MILLS, G. A. e COLQUHOUN, J. R. Objective prediction of severe thunderstorm environments linking a decision tree with an operational regional nwp model. **Weather and Forecasting**. Atlanta, v. 13, p.1078 -1092, 1998.

MONTEIRO, C. A. de F. **A Frente Polar Atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil**. São Paulo: IGEOG – USP, 1969.

MONTEIRO, C. A. de F. Análise rítmica em climatologia – problemas da atualidade climática e achegas para um programa de trabalho. **Climatologia**, n. 1. São Paulo: IGEOG - USP, 1971.

MONTEIRO, C. A. de F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo**: estudo geográfico sob forma de Atlas. São Paulo: IGEOG – USP, 1973.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) Climatic change. **Technical note**, n.79. Genebra: OMM, 1966.

SORRE, M. **Les fondements de la Géographie Humaine**, tomo I: les fondements biologiques, 3 ed. Paris: Armand Colin, 1951.

TAVARES, A. C. **Variabilidade e mudanças climáticas**. 2002. Tese (Tese de Livre Docência em Climatologia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2001.

TAVARES, A. C.; SILVA, A. C. F. Urbanização, chuvas de verão e inundações: uma análise episódica. **CLIMEP – Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v. 3, n. 1, p. 4-18, 2008. Disponível em:

<http://cecemca.rc.unesp.br/ojs/index.php/climatologia/article/view/1223/1552>. Acesso em março de 2009.

ZAVATINI, J. A. Desenvolvimento e perspectivas da climatologia geográfica no Brasil: o enfoque dinâmico, a noção de ritmo climático e as mudanças climáticas. In SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (Ed.) **Variabilidade e mudanças climáticas**: implicações ambientais e sócio-econômicas. Maringá: EDUEM, 2000, p. 225-51.

Recebido em abril de 2009

Aceito em julho de 2009