
ANÁLISE DOS ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE CURITIBA ENTRE OS ANOS DE 2005 A 2010

ANALISYS OF FLOODS IN CURITIBA BETWEEN THE YEARS 2005 TO 2010

Marciel Lohmann¹

RESUMO: Este artigo tem como objetivo caracterizar e compreender a dinâmica de ocorrência dos alagamentos em Curitiba-PR tendo como base os dados pontuais de ocorrência de alagamentos entre os anos de 2005 a 2010. Com tais dados foi possível elaborar cartogramas de densidade de alagamentos e gráficos mostrando o número de alagamentos por bacia hidrográfica, a análise diária e mensal das ocorrências e, os horários em que estes eventos ocorrem com maior frequência. A partir desta análise, reconhece-se que tal conhecimento deve possibilitar o aprimoramento das ações de proteção por parte da Defesa Civil no sentido de retirar pessoas de áreas de risco, subsidiar medidas em tempo real para ordenação do trânsito, proteção de bens materiais e até mesmo para evitar a perda de vidas. Ainda, vem diretamente ao encontro das diretrizes gerais propostas nos planos diretores, no sentido da prevenção contra alagamentos e inundações no município.

Palavras-chave: Alagamentos, Sistema de Alerta, Planejamento Urbano, Defesa Civil, Curitiba;

ABSTRACT: This paper aims a better comprehension about the characteristics and dynamics of floods process in Curitiba-PR, based on flood pontual records between 2005 and 2010. With such database was elaborated floods maps and charts showing the number of floods occurrences at each basin, daily and monthly analysis of the occurrences, and the time of more frequency of these events. From this analysis, it is recognized that such knowledge should enable the improvement of protective actions by the Civil Defense to remove people from hazardous areas, support real-time traffic management, infrastructure protection and avoid human's deaths. Also goes toward the main guidelines proposed in city master plans, in the sense of flood prevention.

Key words: Flooding, Alert System, Urban Planning, Civil Defense, Curitiba;

Introdução

As inundações são fenômenos de ocorrência antiga na história da Terra e remontam a própria existência do Homem, que sempre procurou se localizar próximo dos rios para usá-lo como transporte, obter água para consumo e até mesmo dispor seus dejetos. Por

¹ Geógrafo e Pesquisador, Mestre e Doutor em Geografia pela UFPR. Pesquisador no Instituto Tecnológico SIMEPAR. Tel. 41 8849-8908. E-mail: marciel_lohmann@yahoo.com.br

Artigo recebido em abril de 2013 e aceito para publicação em julho de 2013

possuírem características físicas apropriadas para o assentamento humano, as planícies de inundação foram sendo ocupadas gradualmente ao longo da história.

Assim, grande parte das cidades se desenvolveram às margens dos rios ou no litoral. De acordo com Tucci & Bertoni (2003), a urbanização representa uma das manifestações mais significativas da atividade humana sendo que ao longo da história do processo de urbanização reconhece-se três grandes etapas: (i) pré-industrial, (ii) industrial e (iii) atualmente o das comunicações (também denominada por alguns autores como de “terceirização das decisões”).

A “explosiva” urbanização do mundo e os problemas que esta nova situação traz para os grandes conglomerados urbanos constituem uma das temáticas mais importantes do tempo atual. Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), os desastres provocados por inundações têm vindo a aumentar, como consequência, principalmente, do incremento da expansão urbana em planícies aluviais. A ocupação humana destas áreas tem-se refletido no agravamento dos danos provocados por inundações e alagamentos, que mesmo em bacias regularizadas, continuam a ocorrer e a provocar extensas inundações, com perdas humanas e prejuízos de grande ordem.

As estatísticas sobre a incidência de desastres induzidos por fenômenos naturais extremos no mundo contemporâneo revelam a tendência para a preponderância de fenômenos de origem hidroclimática, como sejam inundações e tempestades (MUNICH-RE, 2005). Levando em consideração tal afirmação e pensando o modelo de urbanização adotado em grandes cidades mundiais nota-se que em muitos casos é permitido a ocupação das planícies de inundação dos cursos d’água urbanos o que expõe a população ao risco de impactos de inundações e alagamentos, agravados pelos episódios anômalos de precipitação. Em regiões tropicais e subtropicais, por exemplo, em que as precipitações são mais frequentes, as inundações e alagamentos decorrentes de chuvas intensas são fenômenos comuns e também conhecidos como eventos de grandes impactos em áreas urbanas, prejudicando as condições de vida da população e provocando prejuízos econômicos.

Assim, uma das maiores dificuldades quanto à prevenção dos impactos pluviais reside no fato de que toda a estrutura urbana, quando “planejada”, utiliza como parâmetro apenas os dados médios referentes aos fenômenos meteorológicos, desconsiderando as anomalias que fazem parte do clima local, e que esporadicamente ocorrem.

Portanto, a chuva é o principal elemento deflagrador dos desastres relacionados a inundações e alagamentos, mas a ocupação inadequada de áreas sujeitas a alagamentos é o principal componente da vulnerabilidade da população frente a esses eventos, e decorrem de processos políticos, econômicos e culturais.

Nos últimos anos, tem-se observado o crescimento no número de pessoas afetadas por inundações e alagamentos, mesmo durante eventos pluviais não tão extremos, devido ao aumento da vulnerabilidade da população.

No entanto, a falta de dados (cartográficos, meteorológicos, hidrológicos) em escalas adequadas para estudos locais tem sido um dos entraves a realização de pesquisas relacionadas a desvendar a dinâmica de eventos extremos no Brasil. Nas pesquisas de cunho ambiental, a situação é ainda mais complicada, pois a avaliação de fenômenos não contínuos, como chuva, ventos, tempestades severas e suas derivações não possuem registros de dados satisfatoriamente detalhados quando os trabalhos utilizam como áreas de estudo bacias hidrográficas urbanas.

Dessa maneira, a necessidade de previsão de eventos extremos de caráter dinâmico e complexo (como as inundações e alagamentos) esbarra na baixa resolução das malhas de registro dos sistemas de coleta de dados e na conseqüente escassez de metodologias aptas a este tipo de previsão. No espaço de poucos metros a grande variação do fenômeno pode comprometer sua compreensão, como no caso das chuvas, onde pode-se encontrar variações de até 20 mm em 1 hora por exemplo, em diferentes pontos de uma mesma bacia. A alta densidade populacional, própria de meios urbanos, também remete à necessidade de precisão cartográfica onde, na exigüidade espacial de habitações de pequeno porte, reside um grande número de pessoas (PEREZ FILHO et al, 2006).

Especificamente para bacias integradas em áreas urbanas, necessita-se cada vez mais, criar condições para o monitoramento dos eventos extremos principalmente, em alta resolução, gerando um ambiente refinado de avaliação, permitindo ser utilizado como base em diversas áreas do conhecimento. Assim, gera-se dados base para estudos, aprimora-se modelos que podem vir a nortear políticas públicas de médio e longo prazos de maneira mais eficaz e precisa.

De acordo com Perez Filho et al (2006), a iniciativa de implantação de bacias urbanas monitoradas e voltadas para o estudo de eventos extremos num contexto pluvio-fluvial, assim como suas aplicações na gestão e planejamento urbano são de extrema importância no Brasil, o que a coloca como fundamental para o balizamento de demais estudos que possam se adequar à realidade físico-natural (geomorfológica, climática, pedológica) e social (o padrão de ocupações das cidades brasileiras).

Levando em consideração tal problemática, constata-se que os problemas relacionados aos eventos extremos de caráter dinâmico e complexo também afetam a Região Metropolitana de Curitiba, na qual está inserido o município de Curitiba, verificados principalmente em função dos efeitos do impulso do crescimento urbano desenfreado ao longo das últimas décadas.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo caracterizar e compreender a dinâmica de ocorrência dos alagamentos em Curitiba tendo como base os dados de 2005 a 2010 coletados junto a Defesa Civil Municipal.

Reconhece-se que tal conhecimento deve possibilitar o aprimoramento das ações de proteção por parte da Defesa Civil no sentido de retirar pessoas de áreas de risco, subsidiar medidas em tempo real para ordenação do trânsito, proteção de bens materiais e até mesmo para evitar a perda de vidas. Ainda, vem diretamente ao encontro das diretrizes gerais propostas nos planos diretores, no sentido da prevenção contra alagamentos e inundações no município.

Especificamente com relação aos alagamentos em Curitiba, sabe-se que não há trabalhos publicados que fazem análises utilizando os dados pontuais de alagamentos coletados pela Defesa Civil do município e compilados pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC). Neste sentido, este trabalho torna-se pioneiro por trabalhar com tais dados para o entendimento da dinâmica dos alagamentos no município.

A Figura 1 ilustra a área de estudo no contexto do Brasil.

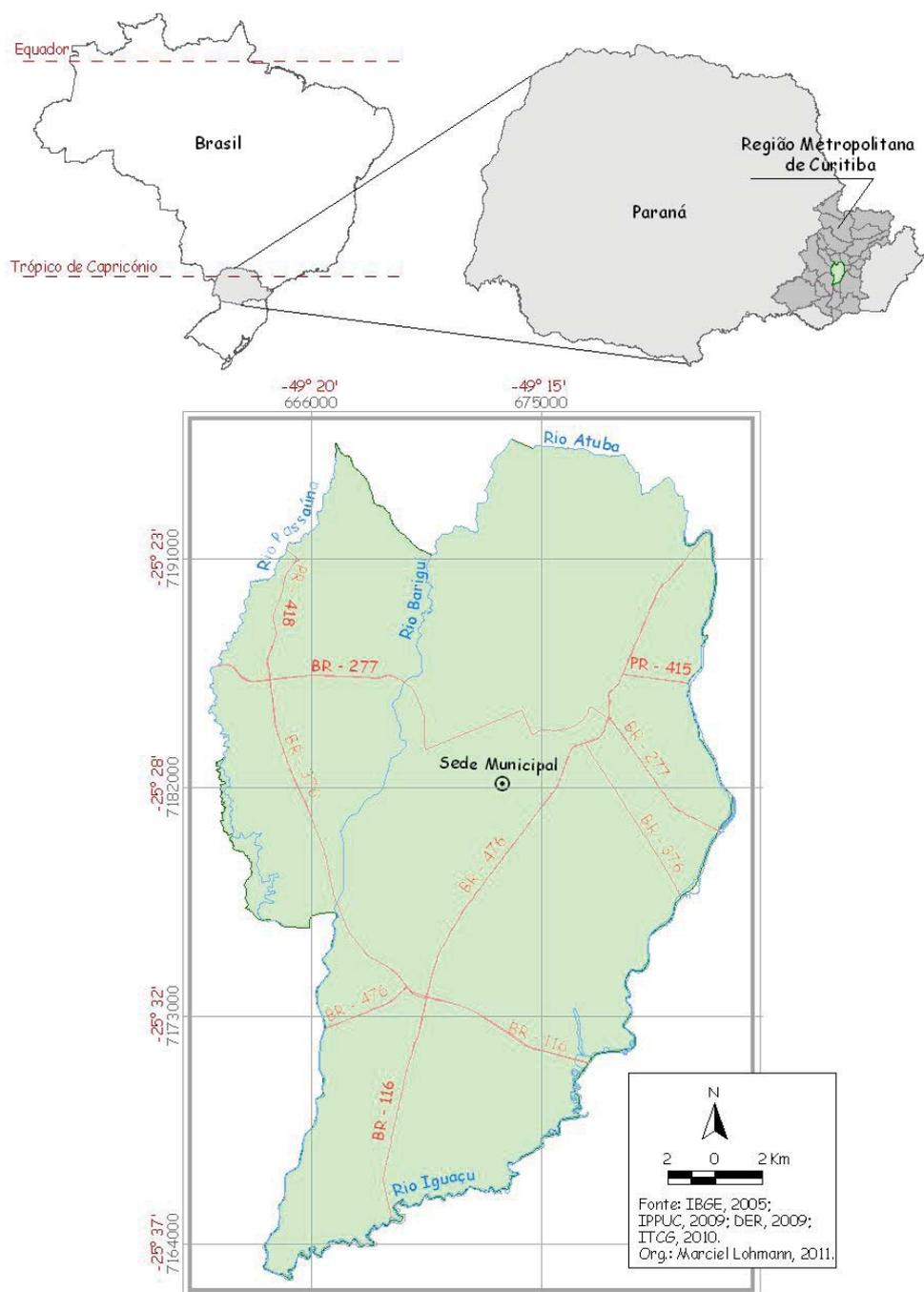


Figura 1 – Localização do município de Curitiba.

Materiais e Métodos

A coleta de dados referentes aos pontos/endereços afetados pelos alagamentos no município de Curitiba foi realizada junto ao Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC). Esses dados, no entanto possuem como fonte primária a Defesa Civil Municipal de Curitiba e para que fosse possível entender como este órgão elabora suas políticas direcionadas para a gestão ambiental urbana, sobre a definição dos eventos extremos e sobre como a coleta de dados é realizada, uma reunião com os técnicos deste órgão foi marcada.

A título de informação, a Defesa Civil Municipal de Curitiba está vinculada a Secretaria de Defesa Social e sua coordenação é feita pelos agentes da Guarda Municipal. A prefeitura municipal possui a Central de Atendimento e Informações – “156”, sendo o “Contact Center” desenvolvido e gerenciado pelo ICI (Instituto Curitiba de Informática), com o objetivo de viabilizar um sistema de comunicação entre o cidadão e a Prefeitura de Curitiba, permitindo o atendimento da demanda de informações e solicitações da população. Possui ainda o “153” – Disque Guarda Municipal - que é o telefone da Guarda Municipal e também o “190”, telefone da polícia.

O procedimento para armazenamento e compilação dos dados é o seguinte: quando um cidadão realiza uma chamada para um dos três telefones citados, o mesmo é identificado e faz-se a solicitação de seu endereço. Tais informações são armazenadas por um sistema chamado “SIGESGUARDA” (Sistema de Gerenciamento da Guarda Municipal) e posteriormente, repassadas para o órgão responsável por resolver a solicitação. No caso de chamadas informando sobre qualquer ocorrência atendida pela Defesa Civil (alagamentos, queda de árvores, risco de deslizamento, erosão, incêndio entre outras) as informações são repassadas para a Defesa Civil Municipal, a qual via agentes da Guarda Municipal atendem as solicitações visitando os endereços informados.

Após os atendimentos serem efetivados, tais informações são repassadas para o IPPUC que, via o endereço informado quando da chamada e do atendimento, extrai as coordenadas e espacializa os dados. Tais dados são espacializados utilizando como referência o Sistema UTM e o Datum SAD 69.

Os dados disponíveis no IPPUC e coletados para este trabalho são do ano de 2005 até 2010. Justifica-se a escolha por este recorte temporal a própria disponibilidade dos dados, já que anteriormente a 2005 existem apenas poucos registros armazenados em forma de relatório para o ano de 2004. Apenas a partir de 2005, em função do interesse de funcionários da Defesa Civil Municipal e do IPPUC no sentido de mapear as ocorrências registradas pela Defesa Civil, que os dados começaram a ser compilados para posteriormente serem espacializados e utilizados com objetivo de entender em quais áreas do município se concentravam determinado tipo de ocorrência. Sendo assim, neste trabalho está sendo utilizada, a série total de dados disponíveis. Como o trabalho tem interesse nos alagamentos, foram extraídas da base disponibilizada apenas as ocorrências relacionadas aos alagamentos.

A Tabela 1 ilustra quais informações são disponibilizadas sobre cada ponto em que ocorreu o alagamento. Salienta-se que os dados sobre alagamentos são pontuais. Sabe-se, no entanto, que os alagamentos envolvem áreas e não pontos. Mas, neste caso, a Defesa Civil registra a ocorrência e a representa de forma pontual. De qualquer forma, o que existia disponível até o final do ano de 2010, era os dados pontuais.

Este modelo de tabela vem sendo utilizado desde o ano de 2009. Anteriormente a este ano, a tabela era praticamente igual com exceção do campo “Hora” que não constava.

Após serem coletados os dados, os mesmos foram importados para o software ArcGIS 9.3, no qual pode-se elaborar as análises espaciais de distribuição no município de Curitiba bem como por bacia hidrográfica. Os resultados são apresentados em forma de gráfico no item de resultados.

Bairro	Data e Hora	Natureza	Rua	Nº	Coord X	Coord Y
CIC	01/02/2010- 02:15	Alagamento	Walter Oto Guaita	1412	667199,73	7179087,16
Xaxim	02/10/2010- 05:55	Alagamento	Do tratorista	42	678908,66	7177905,65
Uberaba	02/12/2010- 22:05	Alagamento	Odenir Dissenha	284	679182,56	7186618,77

Tabela 1 – Modelo da estrutura da tabela

Para um melhor entendimento e mapeamento das áreas mais afetadas no município de Curitiba optou-se por se utilizar o método do “Estimador de Densidade por Kernel” que trata-se de um método bastante difundido na bibliografia e é uma medida de um suavizador de pontos (número de eventos por unidade de área), que permite a análise espacial da dispersão ou concentração de um fenômeno espacial.

De acordo com Bailey e Gatrell (1995), o estimador de Kernel (Figura 2) foi originalmente desenvolvido para obter a estimativa de densidade de probabilidade univariada ou multivariada de uma amostra observada. Estimar a intensidade de um padrão de pontos é como estimar uma densidade de probabilidade bivariada. Pode-se adaptar a estimativa bivariada de Kernel para se obter uma estimativa de intensidade do padrão de pontos.

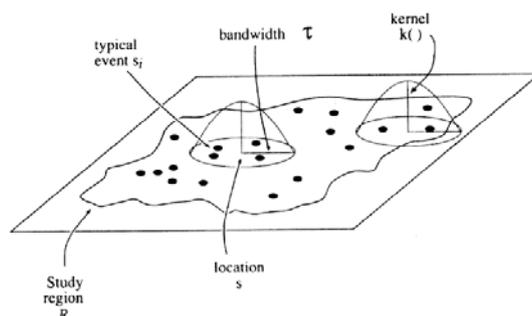


Figura 2 – Estimador de Kernel para um padrão de pontos. Fonte: Bailey e Gatrell (1995)

De acordo com a Figura 2, suponha que s represente uma localização em uma região R e s_1, \dots, s_n são localizações de n eventos observados. Então, a densidade estimada, λ , na localização s é estimada segundo a equação:

$$\hat{\lambda}_r(s) = \sum_{h_i \leq \tau} \frac{3}{\pi \tau^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{\tau^2} \right)^2$$

onde h_i é a distância entre o ponto s e a localização do evento observado s_i , e a soma só acontece para os pontos que estão a uma localização h_i que não ultrapasse τ . A região de influência dentro da qual os eventos contribuem para o cálculo da intensidade é um círculo de raio τ com centro em s . Observando a fórmula, verifica-se que na localização s , a uma distância de zero, o peso é $3/\pi\tau^2$ e cai suavemente para o valor zero quando a distância é τ .

Utilizando este método, elaboraram-se os cartogramas de densidade de alagamentos para os anos de 2005 a 2010, assim podendo-se analisar a evolução na escala espaço-temporal das localidades mais afetadas. Tal procedimento foi elaborado utilizando-se da extensão “Spatial Analyst” do ArcGIS 9.3. O módulo “Density” de Kernel foi inicialmente testado com diversos valores para o raio de abrangência e tamanho de pixel de saída. A partir dos resultados, o raio que melhor se adequou foi de 2000m e com o tamanho de pixel de saída de 100m. Posteriormente foram estabelecidas quatro classes de valor, de maneira que cada classe represente 25% dos valores totais (Muito Baixo; Baixo; Moderado; Alto).

Análise de Frequências

A partir dos dados coletados na Defesa Civil e IPPUC, optou-se por tratar os dados inicialmente utilizando o município como unidade espacial.

Foram elaborados os seguintes gráficos:

- i. Número total de ocorrências versus o número de alagamentos;
- ii. Número total de alagamentos em Curitiba nos anos de 2005 a 2010;
- iii. Número total de alagamentos mensais nos anos de 2005 a 2010;
- iv. Número total de alagamentos por bacia hidrográfica nos anos de 2005 a 2010;

Tendo como base estes mesmos dados, objetivou-se ainda entender a dinâmica dos alagamentos em cada bacia hidrográfica que integra o município de Curitiba, já que o número de ocorrência é bem diferenciado nas mesmas. Além disso, parte-se do princípio de que tal dinâmica está intrinsecamente associada a esta unidade espacial.

Para tanto, foram elaborados gráficos de distribuição de frequência. A distribuição de frequência é uma tabela resumida na qual os dados são organizados em grupos de classe ou categorias convenientemente estabelecidas e numericamente ordenadas.

As distribuições de frequências são séries heterógrafas, isto é, séries na qual o fenômeno ou fato apresenta graduações ou subdivisões. Embora fixo, o fenômeno varia de intensidade.

Levando em consideração tais observações, foi calculada a frequência acumulada do número de alagamentos ao longo do dia por bacia hidrográfica. Tal análise levou em consideração apenas os dados dos anos de 2009 e 2010 em função de que tal informação não era coletada anteriormente a esse período. Apenas a partir de 2009 é que um maior número de informações referentes a cada ocorrência começou a ser coletada entre elas o horário da ocorrência, importante nesse estudo para identificação do período do dia em que os alagamentos são mais frequentes.

Ainda, foi calculada a frequência acumulada do número de dias com “x” número de alagamentos por bacia hidrográfica. Tal análise possibilitou mostrar o número de ocorrências por dia apenas nos dias em que houve ocorrências.

Resultados

Análise do Número de Alagamentos

Os alagamentos de certa forma acompanham o processo de expansão urbana de Curitiba, ou seja, têm aumentado concomitantemente com a incorporação de novos espaços ocupados, sobretudo em áreas consideradas de risco. Em outros estudos, Zanella (2006) e Deschamps (2004) têm demonstrado a falta de sincronia entre as ações antrópicas e as leis da natureza.

Analisando-se a Figura 3 e a Tabela 2, que traça um paralelo entre o número total de ocorrências de Defesa Civil registradas (queda de árvores, incêndios, deslizamentos, erosão entre outras) e apenas as que dizem respeito aos alagamentos, nota-se que os anos de 2006, 2007 e 2009 foram os que tiveram maior número de alagamentos, com 522, 514 e 492 respectivamente. No entanto, no comparativo com o número total de ocorrências, verifica-se que nos anos de 2005 e 2006 do total de ocorrências de Defesa Civil, mais de 50% foram de alagamentos.

A partir dos números apresentados, é possível verificar que os alagamentos constituem-se no principal e maior problema enfrentado pela Defesa Civil municipal, já que perante o total de ocorrências registradas para todo o período analisado, praticamente 45% estão relacionadas aos alagamentos. Isso demonstra ainda o motivo pelo qual os órgãos públicos responsáveis por gerenciar as atividades e propor políticas públicas com intuito de mitigar os impactos advindos de tal problema têm preocupação constante quando da previsão de chuvas de maior intensidade.

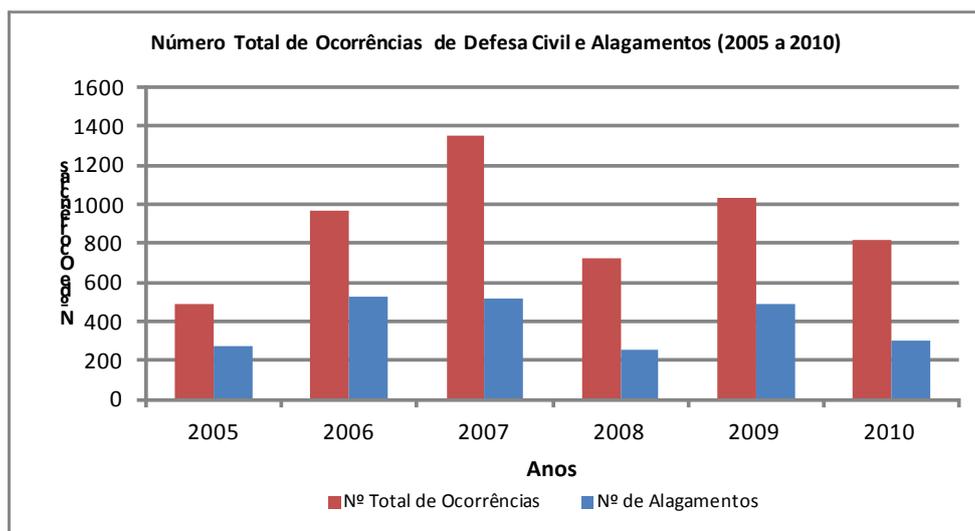


Figura 3 – Número total de ocorrências de Defesa Civil e número de alagamentos registrados em Curitiba entre 2005 e 2010.

Ano	Nº de ocorrências	Nº de alagamentos	Porcentagem de Alagamentos em Relação ao Total de Ocorrências
2005	493	277	56,19%
2006	964	522	54,15%
2007	1347	514	38,16%
2008	719	251	34,91%
2009	1033	492	47,63%
2010	821	297	36,18%
Média	896	392	44,53%

Tabela 2 – Número total de ocorrências de Defesa Civil e número de alagamentos registrados em Curitiba entre 2005 e 2010.

Levando em consideração a importância dos alagamentos perante o cenário de problemas enfrentados em Curitiba e investigando a distribuição espacial dos alagamentos em Curitiba, foram elaborados os cartogramas de densidade a partir do “Estimador de Densidade de Kernel”.

A análise levando em conta os diferentes anos (Figura 4) mostra que existe variabilidade nos padrões de densidade para cada ano, ou seja, ora a densidade é mais alta em uma determinada bacia, ora a densidade é mais baixa nesta mesma bacia. No entanto, mesmo com tal variabilidade, sob outra perspectiva, e elaborando-se uma análise levando em consideração todo o período, os cartogramas deixam evidente que algumas áreas são atingidas frequentemente pelos alagamentos, estando as mesmas representadas por círculos pretos sobre a Figura 5. Tais locais são: a porção média e sul da bacia do rio Barigui, praticamente toda a bacia do Ribeirão dos Padilhas, a porção centro-sul da bacia do Atuba e a porção centro-sul da bacia do rio Belém.

De forma geral, pode-se dizer que existe variabilidade no que se refere aos padrões de densidade e de ocorrência frequente de alagamentos em determinadas áreas de cada bacia hidrográfica, muito possivelmente atrelada ao próprio crescimento da cidade, ao uso e ocupação da cada bacia e ainda em função de suas características físicas (solo, geologia, relevo entre outras).

Dessa forma, um fato que não pode ser desconsiderado e de grande valor é que as ocorrências do passado são de suma importância para determinar a probabilidade de ocorrências no futuro, ou seja, se em um determinado local já ocorreu um alagamento, há também probabilidade, quando comparada com outros locais, que ele volte a ocorrer novamente.

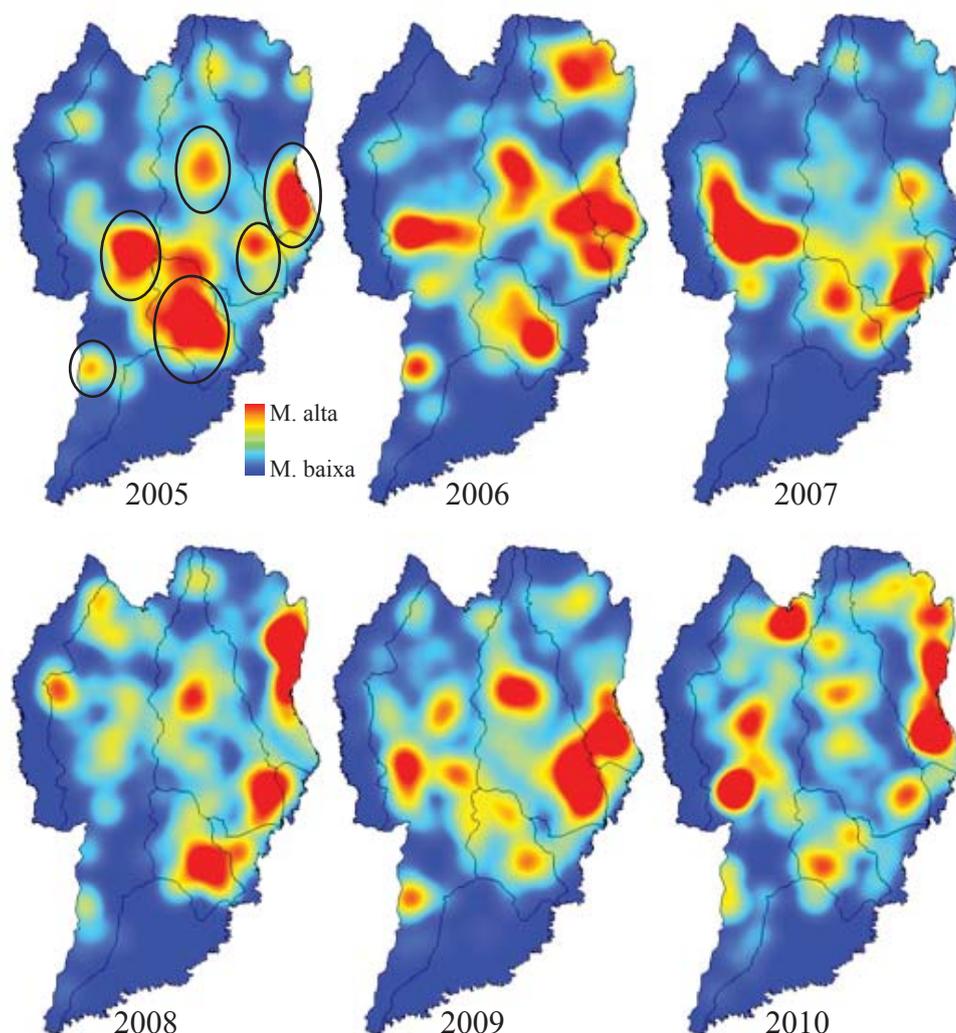


Figura 4 – Cartogramas de densidade de alagamentos para Curitiba os anos de 2005 a 2010.

Análise do Total de Alagamentos por Bacia Hidrográfica

Tendo como base os dados de alagamentos para Curitiba, optou-se também por investigar qual a dinâmica dos alagamentos por bacia hidrográfica.

As Figuras 5 e 6 apresentam o número de alagamentos para o período analisado por bacia hidrográfica bem como seu total. Pode-se verificar que os anos de 2006, 2007 e 2009 foram os anos com maiores números de registros. A bacia do Barigui é a mais atingida, seguida da bacia do Belém e Atuba.

Para o período analisado, na bacia do Barigui foram registrados quase 800 alagamentos, motivo de séria preocupação tanto por parte da população residente como do poder público. Infere-se que, estes números possam ainda estar relacionados a densidade populacional e a área impermeabilizada que cada uma dessas bacias possui, intensificando o problema.

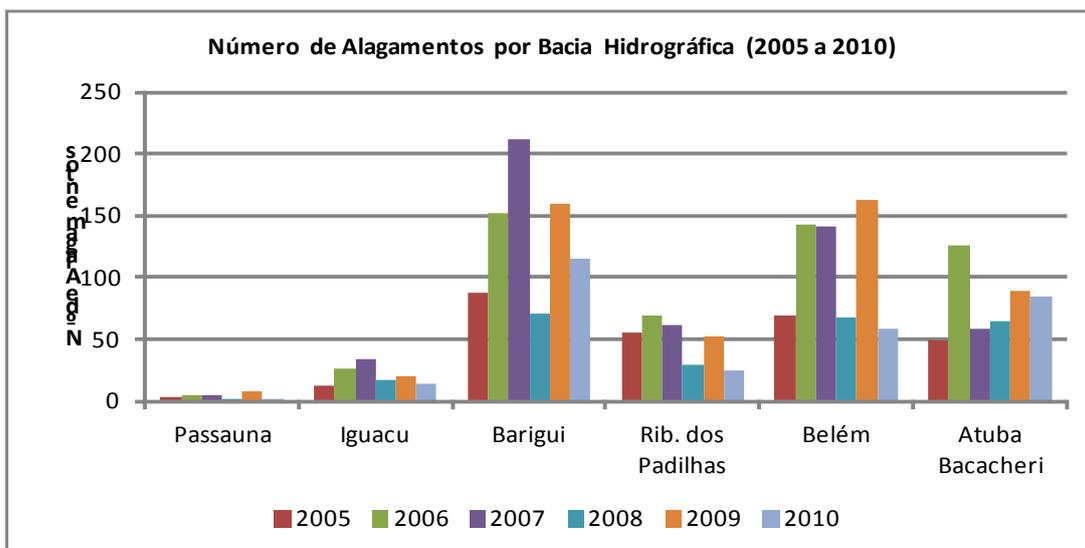


Figura 5 – Número de alagamentos registrados por ano nas bacias hidrográfica entre 2005 e 2010

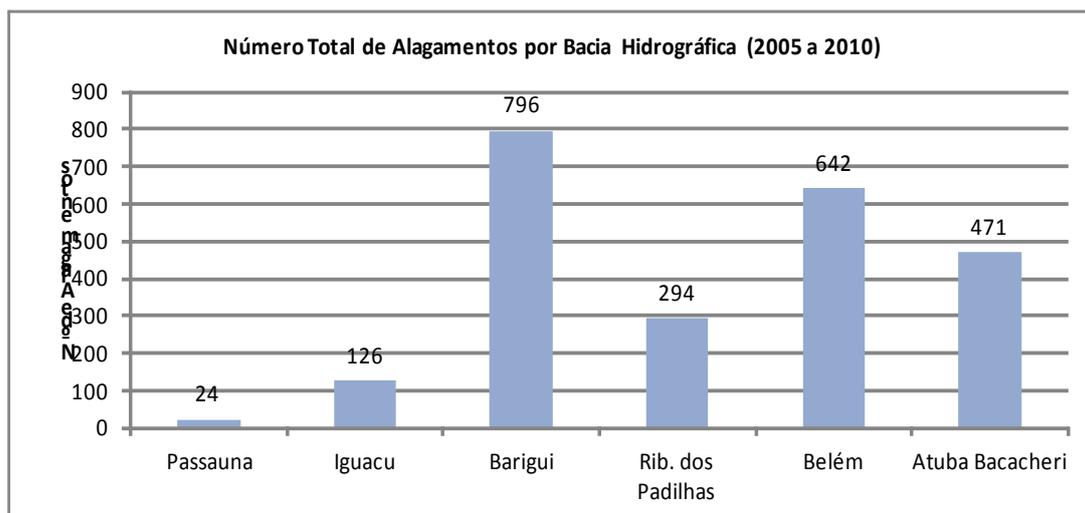


Figura 6 – Número total de alagamentos registrados por bacia hidrográfica entre os anos de 2005 e 2010

Elaborando um paralelo com o estudo apresentado pela SUDERHSA (2007) sobre o Indicador de Agravamento de Inundações (IAI), apresentado no item 2.5.1, corrobora-se as informações já identificadas a partir das análises dos dados históricos de alagamentos, mostrando que realmente as bacias mais afetadas são exatamente a dos rios Barigui (IAI = 263%), Belém (IAI = 280%) e Atuba (IAI = 278%), pois são as que possuem maior densidade de ocupação e área impermeabilizada bem como grande densidade populacional. Tais fatores em conjunto com precipitações intensas são os principais vetores que contribuem para a ocorrência de alagamentos.

Infere-se que a cada ano que se passa, tal índice deve ainda aumentar tendo como conseqüência a diminuição da resiliência de cada uma das bacias, já que os espaços livres tendem a ser impermeabilizados e a densidade populacional aumentar.

Análise dos Dias com Alagamentos e do Número de Alagamentos Diários

Tendo como premissa que para algumas bacias o índice de agravamento de inundações (IAI) é alto e que são estas mesmas bacias as mais afetadas pelos alagamentos procedeu-se com a análise do número de dias no ano com registro de alagamento em cada uma das bacias analisadas bem como a frequência do número de alagamentos registrados em situação de alagamento, ou seja, quando da ocorrência de um evento, qual o número de alagamentos registrados.

A partir dos dados apresentados na Tabela 3, verifica-se que no período analisado, em todas as bacias a percentagem de dias sem registros de alagamentos fica em média acima de 95%. Apenas nos 5% restantes há registros de alagamentos, ou seja, de forma geral, em torno de 18 dias para o período estudado tem-se registros de alagamentos.

Nome	Dias sem ocorrência	Dias com Ocorrências
Barigui	95,9%	4,1%
Belém	92,4%	7,6%
Iguacu	97,2%	2,8%
Atuba	94,6%	5,4%
Rib. dos Padilhas	95,3%	4,7%

Tabela 3 – Percentagem de dias sem e com ocorrências de alagamentos (2005 a 2010)

A partir de tais considerações e pensando nos 365 dias do ano, nota-se que a percentagem de dias com alagamentos é muito pequena, caracterizando situação rara. Apesar desse pequeno número, os alagamentos constituem-se no maior problema enfrentado pela Defesa Civil, causando diversos estragos, perda de bens, interrupção de serviços básicos, caos no trânsito e em alguns casos até a perda de vidas.

Considerando agora apenas a percentagem de dias com ocorrência de alagamentos (última coluna da Tabela 4.4), a Figura 4.8 ilustra um gráfico que em seu eixo Y está representada a frequência acumulada e no eixo X o número de alagamentos. Fica evidente que cada bacia possui uma certa característica em relação ao número de alagamentos que ocorrem em dias de evento, sendo que a bacia do Barigui é a que destoa das demais.

Nota-se de forma clara que com exceção da bacia do Barigui, as demais possuem comportamento similar, ou seja, nos dias em que efetivamente foram registrados alagamentos, observa-se altas frequências para 1, 2 e 3 alagamentos e menores frequências para um número grande de alagamentos. Para a bacia do Barigui pode-se verificar menores frequências para números pequenos de alagamentos e maiores frequências para número de alagamentos entre 5 e 10. Isso significa dizer que nos dias com situações de alagamento nesta bacia, tem um número significativo de alagamentos, geralmente mais do que 1.

Analisando de forma conjunta a Tabela 3 e o gráfico da Figura 7 pode-se chegar a interpretações interessantes. Por exemplo:

1) A bacia do Barigui: possui pequena percentagem de dias com ocorrência de alagamentos (4,1%), mas apresenta número médio de alagamentos por dia de 4,2, que pode ser considerado alto;

2) A bacia do Belém e Atuba: possuem as maiores percentagens de dias com ocorrência de alagamentos, porém em tais dias o número médio de alagamentos é de 3,83 e 3,98 respectivamente;

- 3) A bacia do Ribeirão do Padilhas: possui 4,7% dos dias do ano com alagamentos, tendo número médio de 2,88 alagamentos nesses dias;
- 4) A bacia do Iguaçu: possui a menor percentagem tanto para os dias com ocorrência de alagamentos quanto para o número médio de alagamentos em situações de evento.

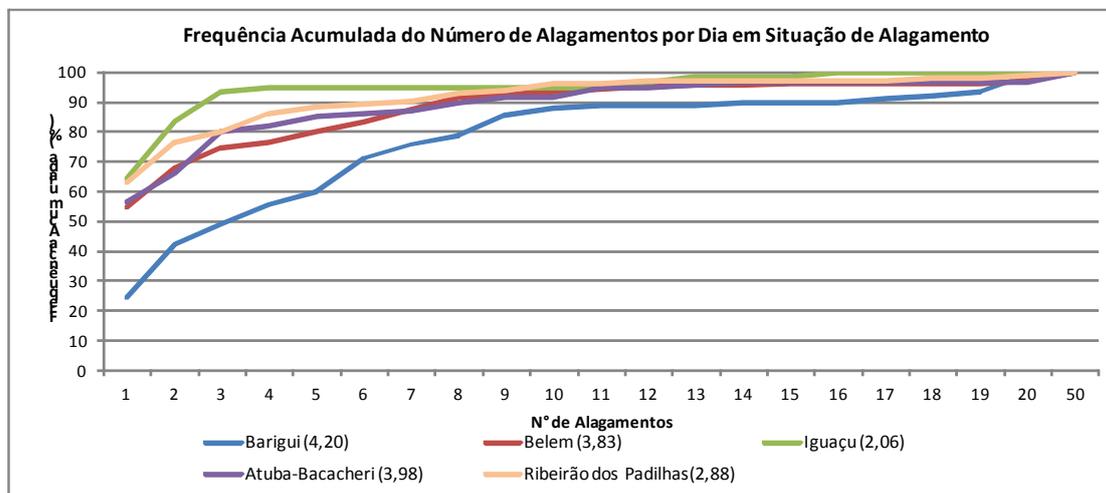


Figura 7 – Frequência acumulada do número de alagamentos por dia em situação de alagamento (dias em que houve alagamentos)

Fazendo um paralelo para as situações apresentadas, conclui-se que possivelmente em função das diferentes características sócio-ambientais das bacias e suas respectivas áreas de drenagem, o tempo de resposta à precipitação torna-se a variável principal para explicar tal dinâmica, ou seja, por a bacia do rio Barigui apresentar maior área, infere-se que o tempo de resposta entre a precipitação e seu efeito é mais longo, possibilitando um maior equilíbrio para os eventos pluviométricos de maior intensidade. Por isso da menor percentagem de dias com ocorrência de alagamentos.

Para as outras bacias com exceção do Iguaçu o tempo de resposta é menor em função de possuírem menor área de drenagem e, portanto a possibilidade de ocorrer alagamentos é maior, apresentando uma maior percentagem de dias com ocorrência de alagamentos. Claro que se em tratando de áreas urbanas como é o caso, em função das áreas impermeabilizadas e das modificações nos canais de drenagem, o tempo de resposta é alterado e por conseqüência menor. Portanto, chuvas com mesma intensidade e duração por exemplo, podem causar alagamentos nas bacias do Belém, Atuba e Ribeirão dos Padilhas e não causar na bacia do Barigui.

Análise Mensal dos Alagamentos

A análise mensal dos alagamentos para o período em estudo (Figura 8 e Tabela 4), mostra que há uma concentração das ocorrências principalmente nos meses de verão (dezembro a março), tipicamente os meses com maiores índices pluviométricos e com as chamadas chuvas convectivas, também conhecidas como chuvas de verão. Geralmente as chuvas convectivas apresentam características de curta duração, porém de grande intensidade sendo vetor preponderante para o desencadeamento dos alagamentos.

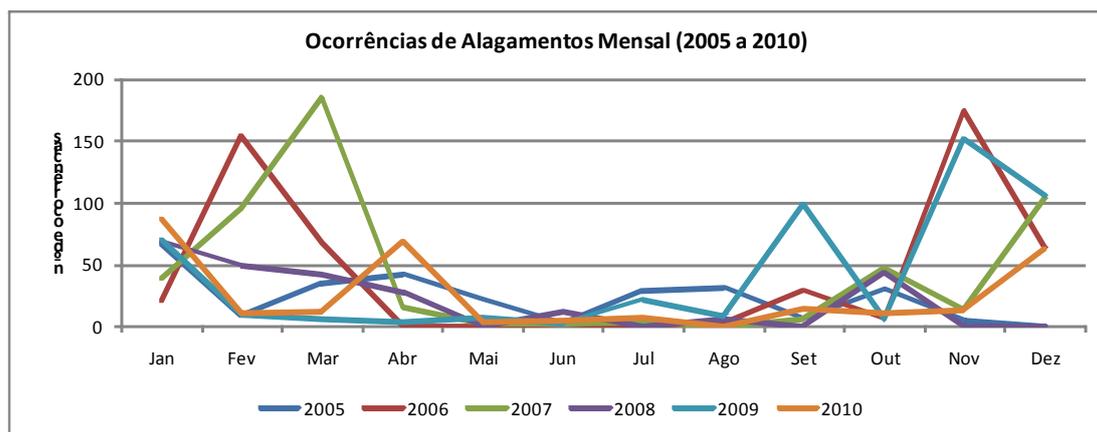


Figura 8 – Ocorrências de alagamentos para os 12 meses do ano com período de análise de 2005 a 2010

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2005	66	8	35	42	22	3	29	31	6	30	5	0	277
2006	21	154	68	0	0	3	0	2	29	6	175	64	522
2007	39	95	185	16	3	2	4	0	6	47	13	104	514
2008	69	50	42	28	0	12	0	6	0	44	0	0	251
2009	70	10	6	4	7	2	22	8	99	6	152	106	492
2010	87	11	12	69	4	5	7	0	15	11	13	63	297
Total	352	328	348	159	36	27	62	47	155	144	358	337	2353

Tabela 4 – Total de ocorrências de alagamentos por mês em Curitiba.

Elab.: Marciel Lohmann, 2011

Iniciando em novembro e concentrando-se até março, os meses de verão respondem por 60% de todos os alagamentos que ocorrem no período analisado, mostrando que o planejamento de ações bem como planos de contingência já devem estar preparados caso necessitem ser utilizados em situação de emergência.

Nos meses de inverno, em função da dinâmica climática ser diferente e estar mais ligada às chuvas vinculadas as frentes frias nota-se que o número de ocorrências de alagamentos é menor. Neste período, infere-se que os alagamentos são causados principalmente em função de um acumulado de chuva maior ao longo de diversos dias.

Análise da Frequência de Alagamentos ao Longo do Dia

Após as análises discutidas no item anterior, interessou-se ainda em identificar em quais horas do dia as ocorrências de alagamentos são mais frequentes. Para tal análise, foram utilizados apenas os dados dos anos de 2009 e 2010, já que nos anos anteriores, tal informação não existia.

A Figura 9 mostra em qual período do dia há a maior frequência de alagamentos. Nota-se que a frequência é maior a partir das 12 horas e aumenta a partir das 16 horas, mantendo-se quase estável até as 22 horas. Dividindo o dia de 6 em 6 horas (Figura 10)

fica mais evidente que o período em que há a maior concentração é das 12 até as 18 horas. Na bacia do rio Barigui e Ribeirão dos Padilhas, diferentemente das outras bacias em que há um leve declínio na frequência, há uma continuidade das curvas, mostrando que os alagamentos também são frequentes depois das 18 horas do dia.

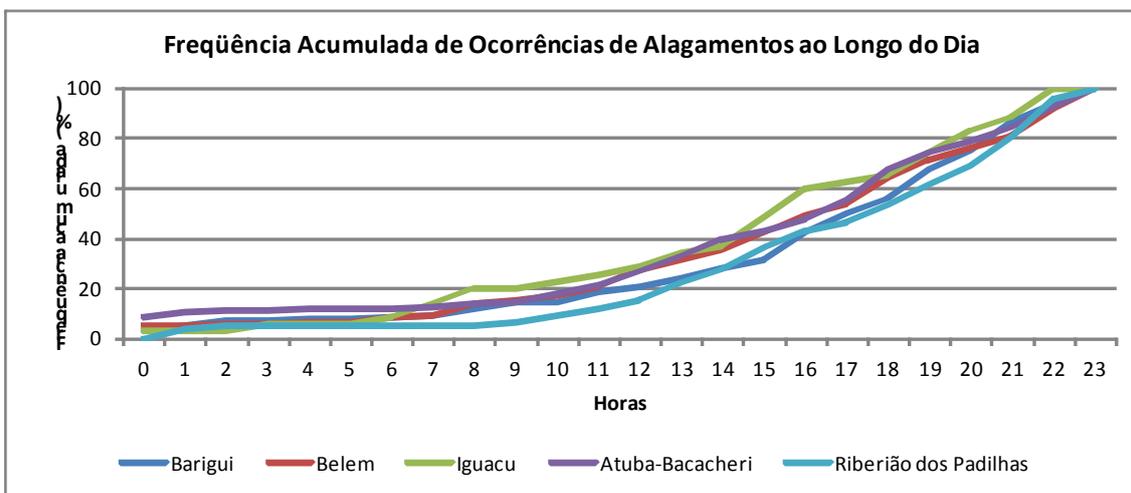


Figura 9 - Frequência (A) e frequência acumulada (B) de ocorrências de alagamentos de hora em hora em cada uma das bacias hidrográficas

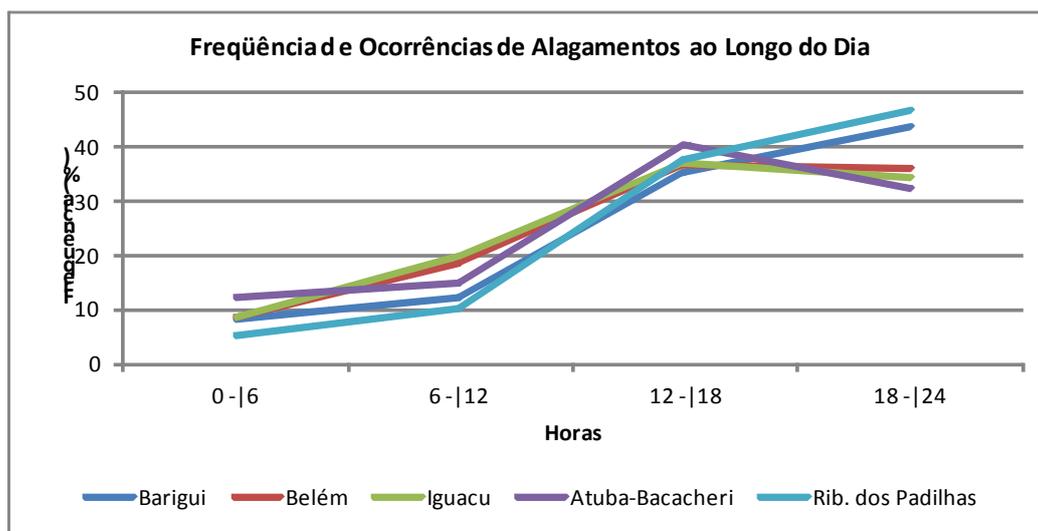


Figura 10 – Frequência de ocorrências de alagamento de 6 em 6 horas para as bacias hidrográficas de Curitiba

Observando-se ainda a Figura 9 e pensando no processo de previsão, pode-se fazer uma análise preliminar da percentagem de alagamentos que ficaram descobertos pela previsão.

A exemplo, se a previsão para um determinado dia for gerada as 6 horas deste mesmo dia, cerca de 10% dos alagamentos já terão ocorrido, em média. Do mesmo modo, se a previsão for gerada às 12h, aproximadamente 20% dos alagamentos já terão ocorrido. Portanto, sugere-se que para evitar alagamentos descobertos pela previsão, a mesma deve ser gerada ao final do dia anterior. Esta previsão pode ser revista ao longo do período de prognóstico caso haja registros recentes de chuvas intensas, contribuindo para uma melhoria no desempenho de um possível sistema de previsão de alagamentos.

Conclusões

A partir da análise dos dados de ocorrências de Defesa Civil e apesar do pequeno período observado (2005-2010), aliado à imprecisão de alguns registros, é possível afirmar que os alagamentos são o principal problema no município de Curitiba, somando quase 45% do total de ocorrências registradas no período analisado.

Neste sentido, para o sucesso das ações de planejamento e gestão urbana e ambiental de Curitiba, é fundamental importância o estabelecimento de mecanismos de monitoramento, fiscalização e controle das áreas de alagamento recorrentes e de preservação permanente, que permitam o cumprimento das legislações existentes bem como a revisão e complementação destas, tornando-as mais eficientes. Esses procedimentos devem estar associados a políticas habitacionais, que possibilitem o acesso da população de baixa renda a condições digna de moradia, a educação ambiental estendida aos técnicos municipais e a toda comunidade, além de práticas de planejamento e gestão urbana e ambiental, verdadeiramente democráticas e integradas, com a discussão e troca de informações entre órgãos públicos, setor privado e a sociedade.

Como proposta, é também de suma importância a implementação de um sistema de alerta de alagamentos em Curitiba, que funcione em ambiente operacional e que a Defesa Civil Municipal possa se servir desses resultados em escala diária ou mesmo de 6 em 6 horas. Assim, este sistema torna-se parte integrante de uma das fases constituintes do gerenciamento de desastres naturais, denominado de resposta, que juntamente com a prevenção, preparação e a recuperação, formam um ciclo de ações permanentes voltado ao aumento da resiliência e à consequente redução do risco a desastres de determinada comunidade.

Referências

- BAILEY, T.; GATRELL, A. *Interactive Spatial Data Analysis*. Longman Scientific and Technical, London, 1995.
- DESCHAMPS, M. V. *Vulnerabilidade Socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba*. Curitiba, 2004. 192 f. Tese (Programa de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná.
- GEISSLER, H.J.; LOCH, R. E.N. Análise histórica das enchentes em Curitiba-PR: medidas propostas e consequências observadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. *Anais...Florianópolis*; GEDN/UFSC, 2004.p.507-523.
- KRON, A., et al. *Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks*. Disponível em <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/485/2006/nhess-6-485-2006.html>. Acesso em Fevereiro de 2009.
- MONTGOMERY, C.W. *Environmental geology*. WCB/MC Graw Hill, Boston, 1997.
- MUNICH-RE – *Topics Geo, Annual review: Natural Catastrophes 2004*. 2005.
- PEREZ FILHO, A. et al. Monitoramento e Gerenciamento de Bacias Urbanas Associados à Inundação: Diagnóstico da Bacia do Ribeirão Quilombo na Região Metropolitana de Campinas Utilizando Geotecnologias. *Revista do Departamento de Geografia*, 19 44-54 p. 2006.
- TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C (Org). *Inundações urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.
- ZANELA, E. *O impacto das precipitações, as inundações e a percepção das comunidades atingidas, da imprensa e dos gestores públicos: um estudo de caso no bairro Cajuri – Curitiba – PR*. Curitiba, 2005. 209 p. Tese (Programa de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná.