

Geoprocessamento aplicado no mapeamento de áreas com risco de inundação em Santa Maria-RS

Nadinne da Silva Fernandes¹
Alessandro Carvalho Miola¹

¹Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Av. Roraima, nº 1000, prédio 70 Campus UFSM – Santa Maria - RS, Brasil
nadinnefernandes@live.com; engenheiroacm@gmail.com

Abstract. This study aims to map flooding areas in Santa Maria city through digital terrain modeling, from the georeferenced determination of the places which have been inundated by floods in the past. Cadena Stream has been chosen as the determined area because it covers Santa Maria urban space, with demarcation of a border around the 2km, which purpose was to ensure that the headwaters of the watersheds were included in the search. In this study inventoried the occurrence of points of flooding and its distance from the main channel as a way to estimate the potentially flooded areas. Furthermore, the methodology also considered the use of a DTM hydrologically consistent generated by inclusion in the vectors of geostatistical interpolation drainage topologically oriented that produced thematic maps of slopes, river altitudes and order of the channels. It can be concluded that the spatial distribution of georeferenced flood follows a logic that respects the topographical characteristics of the places where the records were sampled, in other words, the highest number of occurrences is located in close proximity to the flatter and lower, as well, near the river channels of Strahler order more. Occurrences that diverged this logic can be explained by localized effects of obstruction of channels by debris or sediment, a situation commonly found in urban watersheds.

Palavras-chave: digital terrain model, areas of flooding, thematic mapper, modelo digital do terreno, áreas de alagamento, mapas temáticos.

1. Introdução

Esse estudo propõe-se avaliar a espacialização das áreas de alagamento e das áreas de planícies de inundação no município de Santa Maria – RS, por meio de modelagem digital de terreno.

Tucci (1993) afirma que as enchentes acontecem quando ocorre uma precipitação intensa e o total de água que chega simultaneamente ao rio é superior à sua capacidade de drenagem, resultando em inundações das áreas ribeirinhas.

Para as cidades onde as enchentes tornam-se problemas e ocasionam danos humanos e materiais, elas se agravam em função do aumento da urbanização, habitação de áreas de riscos, depósitos de resíduos sólidos em locais incorretos, uso indevido da terra, assoreamento, solapamentos da margem fluvial e do desmatamento da cobertura vegetal. Todas essas ações têm como consequência direta o aumento de áreas impermeáveis, o aumento do escoamento superficial e da vazão na bacia hidrográfica, contribuindo para o agravamento das enchentes (ENOMOTO, 2004).

As inundações são fenômenos naturais recorrentes que possuem, além da imprevisibilidade temporal, distribuição espacial dos impactos também desconhecida. A delimitação aproximada das áreas inundáveis é uma determinação possível somente depois das ocorrências de enchentes, cuja dimensão espacial da área está diretamente relacionada com a chuva que causou o problema. Os eventos extremos de precipitação que causam inundações têm ocorrido em intervalos de tempo mais curtos, por força da mudança climática.

Sabe-se que as inundações ocorrem em áreas planas conhecidas pelos acúmulos das águas do escoamento superficial das chuvas incidentes sobre as bacias. Nessas áreas os impactos das enchentes afetam diretamente as pessoas, pelos prejuízos materiais, como também a organização socioeconômica relacionada a todas as comunidades que habitam esses locais.

Exemplos desses impactos são: obstrução das vias urbanas, a contaminação por doenças de origem hídrica como leptospirose, prejuízos econômicos, entre outros.

Para que o planejamento e a fiscalização das ocupações das áreas urbanas obedeçam a critérios de segurança relacionados às inundações, é necessário que as administrações públicas municipais disponham de instrumentos confiáveis de restrição para o uso dessas áreas.

Devido à complexidade na determinação dessas, sente-se a necessidade de estudos de base técnica, principalmente considerando a possibilidade de modelar a geomorfologia das áreas inundáveis. Diante desta complexidade é preciso conhecer as geotecnologias e os métodos para melhor análise e estudos desses fenômenos da superfície terrestre.

As técnicas de mapeamento de áreas inundáveis frequentemente utilizam modelos digitais de elevação (MDEs) que descrevem o relevo no nível da superfície do uso do solo, ou seja, o relevo dos MDEs é afetado pelos diferentes elementos físicos construídos sobre a superfície topográfica. Essa característica é chamada de efeito dossel e implica em desvios significativos na distribuição espacial das drenagens naturais do relevo, geradas digitalmente.

A modelagem dos elementos da superfície terrestre só é possível devido a técnicas de geotecnologias que são ferramentas de elevada importância para tomada de decisões. Elas mostram os ambientes e a sua transformação, destacam os impactos causados por fenômenos naturais como as inundações e a erosão do solo e fatores antrópicos, como os desmatamentos, as queimadas, a expansão urbana, ou outras alterações do uso e da ocupação da terra (FLORENZANO, 2002).

Os MDTs descrevem a real superfície topográfica do relevo e com isso tem-se a segurança de que as distribuições das drenagens naturais se deem sem desvios de cursos.

Com base nesta realidade, esse trabalho objetiva mapear as áreas de alagamento no município de Santa Maria, sobre um modelo digital de terreno a partir da determinação georreferenciada dos locais que já foram inundados por enchentes do passado.

2. Metodologia de Trabalho

Área de estudo

O município de Santa Maria localiza-se na região central do Rio Grande do Sul (Fig. 1). O território do município ocupa uma área de 1.788,129 Km², com uma população estimada de 261.031 hab. (IBGE, 2012), sendo que 248.347 hab. ocupam a área urbana do município.

A área determinada para o estudo foi a bacia hidrográfica do Arroio Cadena, situada no perímetro urbano, com aplicação de um *buffer* de 2km no entorno, cuja finalidade foi garantir que as nascentes das microbacias fossem incluídas nas áreas de pesquisa.

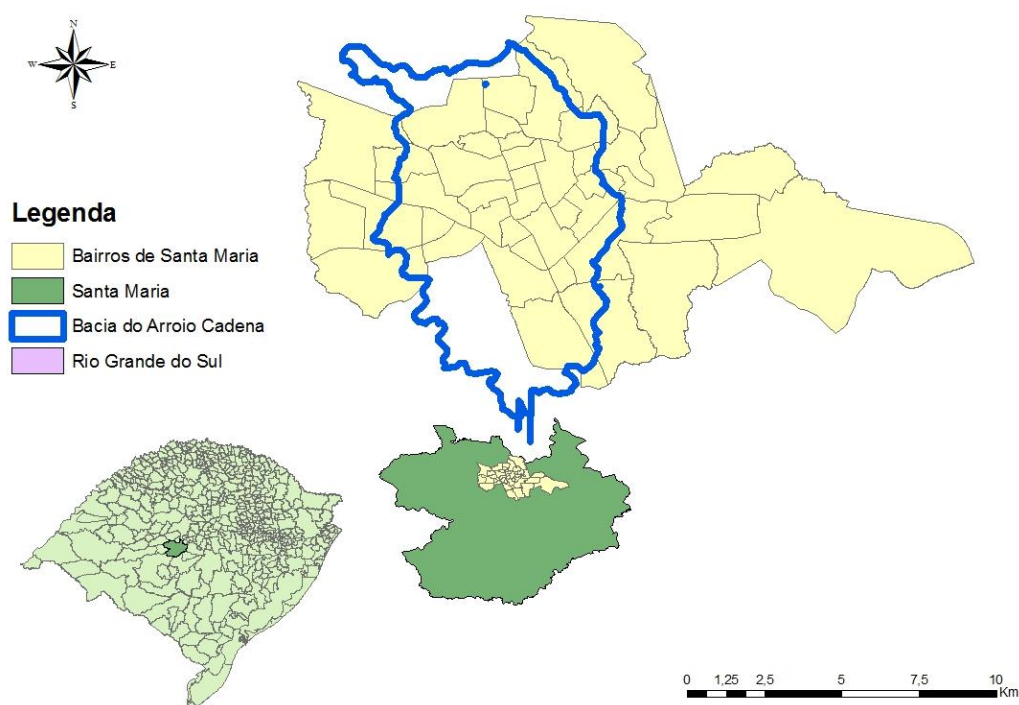


Fig.1 – Localização geográfica da área de estudo.

O trabalho de modelagem digital de terreno foi elaborado a partir de um conjunto de dados das cartas topográficas da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) do Ministério do Exército, em escala 1:25.000. Na região de estudo a cobertura cartográfica nesta escala possui a descrição altimétrica do relevo em curvas de nível de 10 em 10 metros. Além das curvas de nível incluíram-se no processo de modelagem os pontos cotados das cartas topográficas, a hidrografia topologicamente orientada e pontos topográficos obtidos in loco nas áreas de ocorrências de alagamento conhecidas. Esses pontos foram obtidos por métodos de levantamento GNSS com receptor de dupla frequência. Os vetores digitais oriundos das cartas 1:25000 tiveram seus sistemas de referencia geodésico transformados de SAD1969 para SIRGAS 2000. A projeção cartográfica utilizada foi a Universal Transversa de Mercator (UTM) e o fuso que recobre a área de estudo é o 22 S.

Para identificar as áreas alagadas recorreu-se ao acervo jornalístico do Arquivo Público Municipal de Santa Maria e através de uma triagem nos jornais foram selecionadas as reportagens que registraram os prejuízos decorrentes das maiores cheias nos últimos 32 anos. A seleção das reportagens baseou-se nas datas das ocorrências das maiores chuvas diárias, registradas no pluviômetro da estação meteorológica da UFSM, no período inventariado, a partir da série histórica de dados pluviométricos, disponibilizada no Banco de Dados Meteorológicos para Pesquisas (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A localização espacial dos registros de alagamentos reportados nos jornais deu-se em função das informações contidas nas reportagens, que descrevem os endereços dos locais prejudicados. Através do software Google Earth® demarcou-se a coordenada geográfica aproximada desses locais.

A partir do MDT fez-se o delineamento automático das microbacias que formam as bacias hidrográficas na região de estudo. As áreas e os canais principais dessas microbacias foram obtidos aplicando-se a ferramenta delineamento de bacia (*Watershed Delineation*) do ArcMap®, desenvolvida por Nawajish Noman (2007). Deste procedimento resultou a subdivisão das bacias hidrográficas em microbacias vertentes nas áreas declivosas e microbacias de acumulação nas planícies de inundação. Também, essa ferramenta gera, em

função das diferenças de cotas dos pixels do MDT, o escoamento orientado em canais, bem como o fluxo acumulado dos mesmos.

Com base na hidrografia gerada digitalmente foi possível ordenar as magnitudes de acumulação dos fluxos, seguindo o método definido por Strahler, pelo qual o canal de menor ordem é aquele que se origina da nascente até a primeira confluência e o canal de maior ordem é aquele que alcança o exutório da bacia.

Considerando que as áreas inundáveis são aquelas mais próximas ao leito menor dos canais principais, que nas planícies de inundação formam uma faixa de terreno estendendo-se de centenas de metros até vários quilômetros a partir do talvegue, esta metodologia avaliou a ocorrência de pontos de inundação e sua distância em relação ao canal principal como forma de estimar as áreas potencialmente alagáveis na cidade de Santa Maria.

3. Resultados e Discussão

Os resultados primários deste trabalho referem-se à consistência hidrológica do MDT. Para atingir este requisito a modelagem do relevo respeitou o sentido do escoamento natural das águas. Isso foi realizado, na prática, pela orientação topológica dos vetores da hidrografia e pela definição georreferenciada do exutório da bacia, planialtimetricamente. Também, foram considerados os dados altimétricos tridimensionais (N, E e H) que, através do interpolador *Topo to Raster* do ArcGIS® Desktop, resultaram em um modelo de terreno fidedigno à orientação das vertentes e a direção percorrida pelo escoamento superficial concentrado em canais.

Para validar o MDT comparou-se a rede de drenagem das cartas topográficas, na escala 1:25000, ao modelo hidrográfico de escoamento, gerado digitalmente a partir da aplicação do script *“Watershed Deliniation”*. A figura 3 ilustra a semelhança dos percursos fluviais gerados pelo ArcGIS®, que coincidem com a hidrografia cartográfica, vista na figura 2.

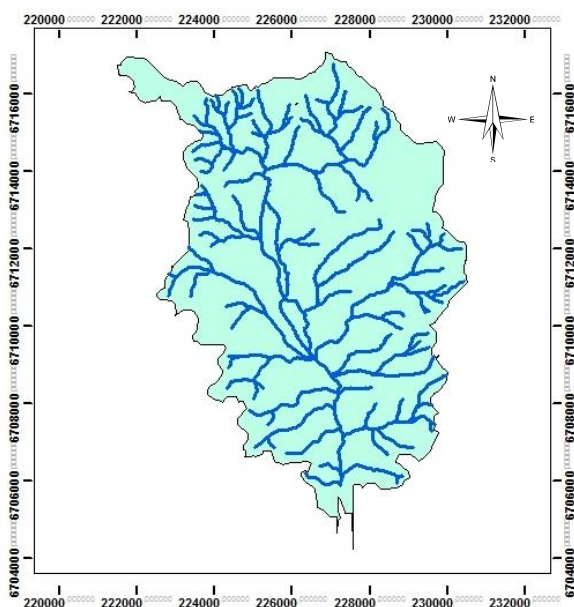


Fig.2- Hidrografia Cartográfica

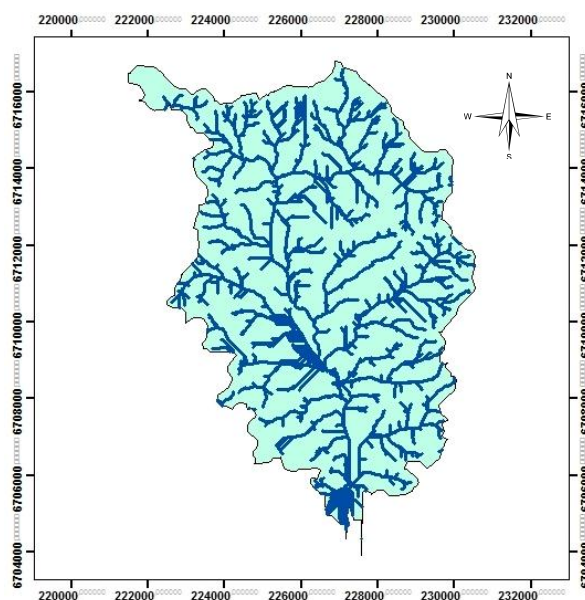


Fig.3- Hidrografia Digital com limiar de 500

Observa-se que além de representar fielmente à hidrografia da bacia a modelagem do relevo possibilitou caracterizar essa hidrografia com maior grau de detalhamento e, com isso, aumentou a escala de representação do escoamento fluvial. A ampliação da resolução espacial da representação hidrográfica adequa-se melhor aos estudos relacionados aos fenômenos hidrológicos, pois a escala cartográfica (1:25000) é limitante para este tipo de estudo.

A figura 4 apresenta em perspectiva tridimensional o MDT usado no delineamento da hidrografia.

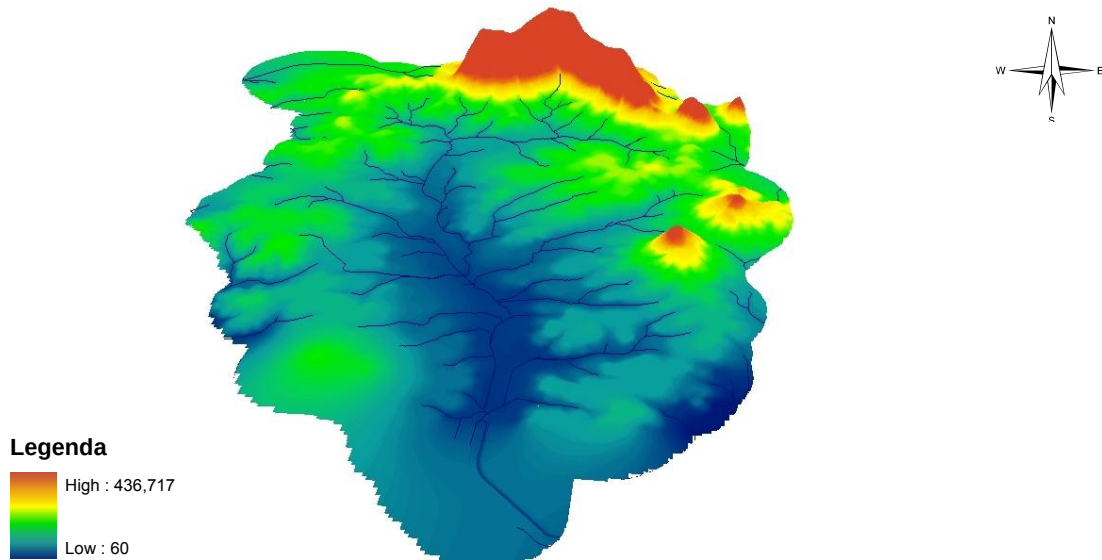


Fig. 4 - Visão em perspectiva do MDT da bacia do Arroio Cadena, Santa Maria-RS.

A partir do modelo hidrográfico de escoamento derivado do MDT foram estabelecidos limites de abrangência das ocorrências de inundações. Esses limites partindo dos canais principais do escoamento fluvial, gerados digitalmente, foram delimitados com bordas de intervalos de 30m, 50m, 100m, 150m e 200m. Estes limites serviram para representar espacialmente a distribuição das ocorrências de enchentes dentro de uma margem de alcance da inundação produzida por um determinado canal fluvial. Teoricamente, as ocorrências distribuem-se em maior número quanto mais próximos dos rios os locais estiverem. Também, a delimitação direta destas margens permite definir as áreas de segurança para a ocupação urbana com base na densidade de locais inundados, existentes em uma determinada margem de alcance.

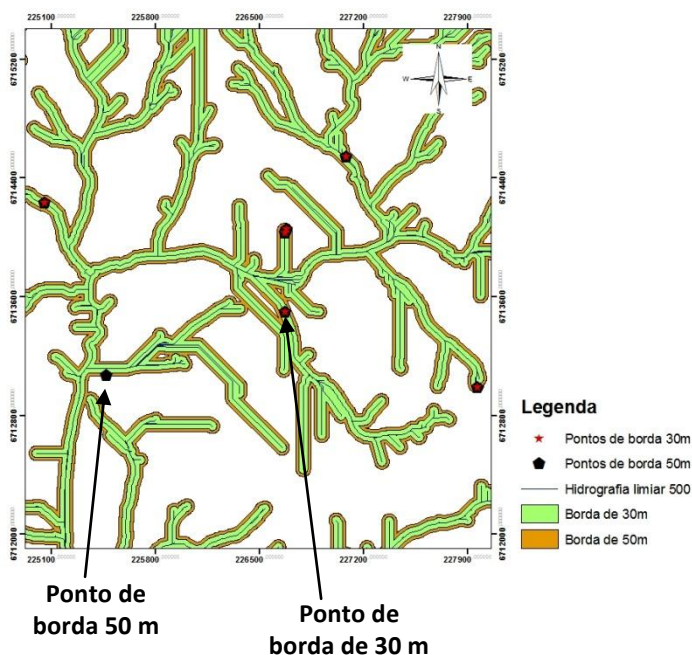


Fig.5 – Bordas de 30 e 50m.

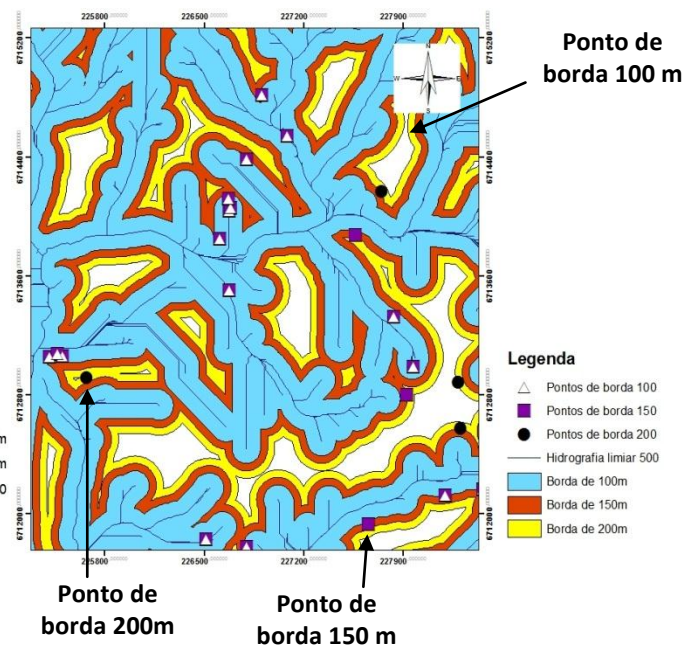


Fig.6 – Bordas de 100, 150 e 200m.

Conforme a visualização das figuras anteriores os resultados das distâncias das ocorrências de inundações, em relação ao delineamento fluvial, são mostrados no quadro 1.

Quadro 1 – Distância das ocorrências de inundações amostradas e as respectivas distâncias a partir dos canais.

Margem (Buffer) (m)	Nº de ocorrências amostradas
0 - 30	15
30 - 50	5
50 - 100	14
100 - 150	5
150 - 200	7

No quadro 1 observa-se que o maior número de ocorrências de inundações situa-se entre 0 e 30 metros, como era esperado. Entretanto um número significativo de ocorrências distantes mais de 50 metros dos alinhamentos dos canais demonstra existir outros fatores influenciando a distribuição espacial das inundações.

Sabe-se que o escoamento superficial obedece ao sentido gravitacional, logo, a acumulação do alagamento concentra-se mais nas áreas baixas e planas. Considerando esta constatação produziu-se a comparação do número de ocorrências de inundações amostradas em relação às declividades e altitudes.

As figuras 7 e 8 mostram esta distribuição.

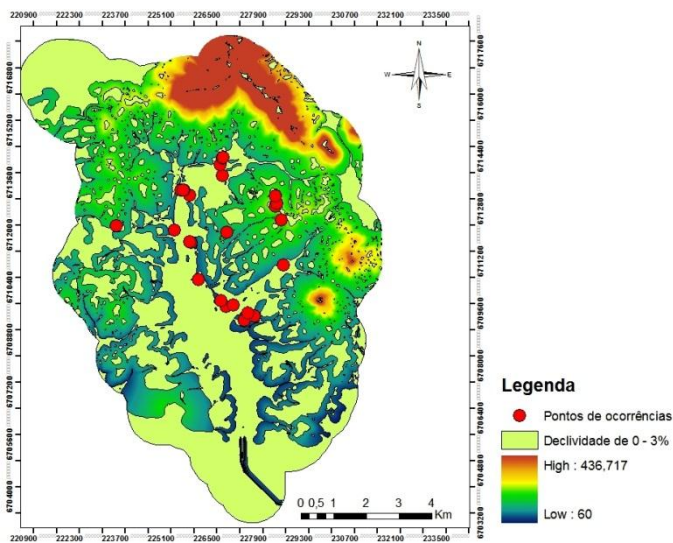


Fig. 7 – Baixas declividades de 0 – 3%.

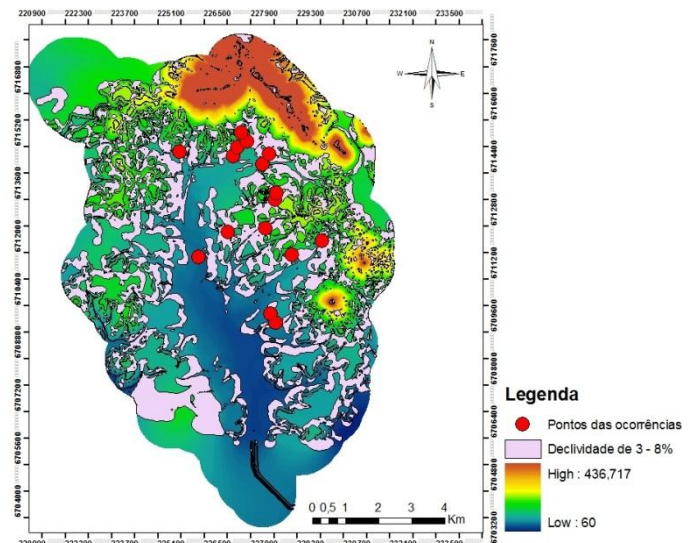


Fig. 8 – Baixas declividades de 3 – 8%

Analisando os mapas das figuras anteriores percebe-se que a distribuição espacial das inundações concentra-se nas declividades abaixo de 8%. No intervalo de 0 a 3% foram encontradas 25 das 49 ocorrências de enchentes inventariadas, ou seja, mais de 50%. De 3 a 8% esse número é de 16 registros de inundações, que somado à quantidade mapeada no intervalo de 0 a 3%, totaliza 41 ocorrências, resultando 84% do total inventariado. Esse percentual demonstra nitidamente que o fator topográfico influencia diretamente a suscetibilidade dos locais quanto à inundação.

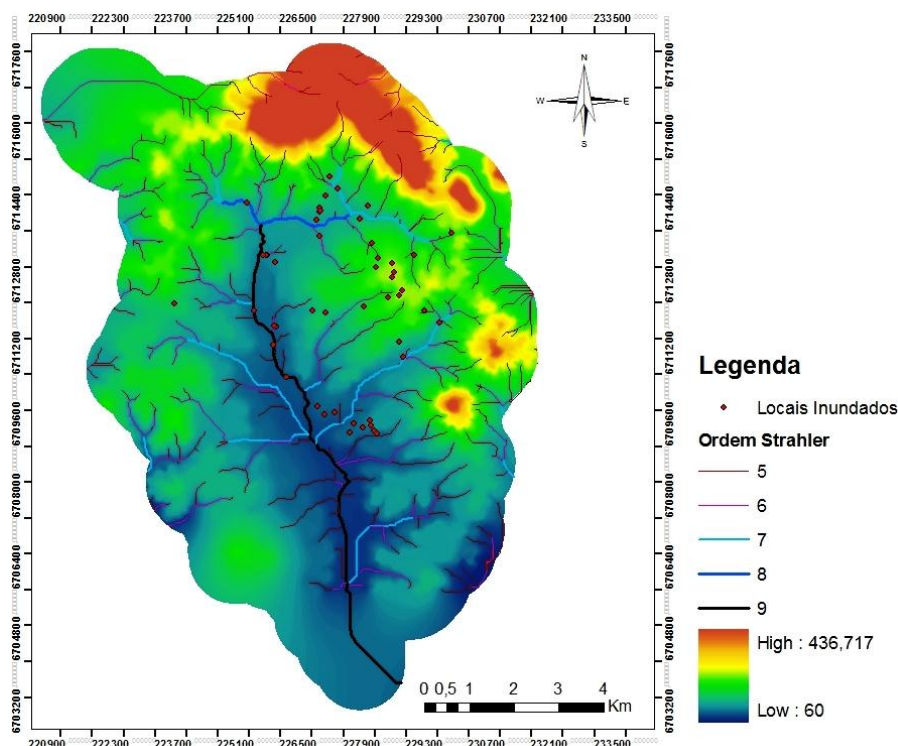


Fig. 9 – Espacialização dos registros de inundações em relação à magnitude fluvial de Strahler.

Observando o mapa da figura 9 constata-se que a distribuição das ocorrências de inundações segue ao ordenamento fluvial proposto por Strahler. Percebe-se que as maiores concentrações de locais suscetíveis as enchentes situam-se nas imediações dos canais com magnitudes de ordem igual ou maior que 7. Isto significa que o escoamento superficial difuso, ao convergir e concentrar-se nos canais fluviais, acumula o volume de água no sentido do exutório e implica na maior fragilidade das áreas ribeirinhas desses canais com maior vazão de escoamento.

4. Conclusões

A partir das análises feitas por meio dos dados geográficos da bacia do presente estudo, pode-se concluir que a distribuição espacial das ocorrências georreferenciadas de inundações segue uma lógica que respeita as características topográficas dos locais onde os registros foram amostrados. Isto significa que a espacialização das áreas inundáveis tem relação diretamente proporcional à distância em relação ao canal, bem como à altitude, à declividade e, principalmente, à magnitude do escoamento acumulado concentrado nesses canais fluviais, que pode ser representada através do ordenamento fluvial de Strahler.

Agradecimentos

A equipe deste estudo agradece aos funcionários do Arquivo Público Municipal de Santa Maria por disponibilizar o acervo jornalístico consultado. Da mesma forma agradece ao Colégio Politécnico da UFSM pela cedência dos recursos utilizados na pesquisa.

Referências Bibliográficas

Enomoto, C. F. Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná. 2004. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

Florenzano, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo, Oficina de Textos, 2002.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 05 jun. 2012.

TUCCI, C. E. M. (Coord.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Associação Brasileira de Recursos Hídricos/UFRGS - ABRH, 1993. 952 p.

Watershed Delineation Tools. Disponível em: <<http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=15148>>. Acesso em: 1º de maio de 2010