

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES

PRODUTO 3.3. MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS
SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES E ENXURRADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO TAQUARI-ANTAS

RF
RELATÓRIO FINAL

Porto Alegre
Fevereiro/2017

SUMÁRIO

PRODUTO 3.3. MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES E ENXURRADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAQUARI-ANTAS	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. METODOLOGIA	7
2.1. Identificação das linhas de drenagem e da bacia hidrográfica	8
2.2. Estimativa de índices morfométricos e hidrológicos	9
2.3. Identificação e caracterização das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas.	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
3.1. Índices morfométricos e hidrológicos referentes à bacia hidrográfica do Taquari-Antas	17
3.2. Mapeamento e caracterização das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas.	24
4. CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS.	3
Figura 2 - Fluxograma resumido da metodologia para o mapeamento e caracterização das inundações e enxurradas.	8
Figura 3 - Índices morfométricos e hidrológicos estimados para sub-bacias do Taquari-Antas.	19
Figura 4 - Curva regional de vazões adimensionais para estimativa de vazão máxima por tempo de retorno, válida para a região do Taquari-Antas, RS.....	23
Figura 5 - Função para estimativa da vazão média diária máxima anual (Q_{max}) em função da área da bacia, válida para a região do Taquari-Antas, RS.....	23
Figura 6 - Mapa de áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, RS.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Séries hidrológicas utilizadas no procedimento de regionalização das vazões máximas na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas.....	12
Tabela 2 - Aumento no nível do rio (m) utilizados para o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na bacia do rio Taquari-Antas.....	14
Tabela 3 - Síntese da estimativa do tempo de concentração na seção do Porto de Estrela, rio Taquari.	20
Tabela 4 - Síntese da estimativa do tempo de concentração na seção Marques de Souza, rio Forqueta.	21
Tabela 5 - Síntese da estimativa do tempo de concentração na seção Forqueta, na divisa entre Arroio do Meio e Lajeado, rio Forqueta.....	21
Tabela 6 - Síntese da estimativa do tempo de concentração na seção Rio das Antas, na divisa entre Bento Gonçalves e Veranópolis.	22
Tabela 7 - Índices morfométricos e hidrológicos de pontos de interesse em áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na bacia do rio Taquari-Antas.....	27

PRODUTO 3.3. MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES E ENXURRADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAQUARI-ANTAS

1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais que ocorrem no Brasil são, na sua maioria, de origem atmosférica. A precipitação, seja em excesso ou em escassez, é o elemento atmosférico que mais contribui para a ocorrência de desastres na região Sul. Algumas das consequências mais drásticas da ocorrência de chuvas intensas sobre determinada região são as inundações e as enxurradas (TEIXEIRA; SATYAMURTY, 2004).

O termo desastres pode ser definido como o resultado de eventos extremos, naturais ou provocados pelo homem, sobre uma área vulnerável, na qual causam danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais (SANTOS, 2007). Em relação aos eventos naturais extremos, encontram-se vários fenômenos, diferenciados em quantidade e intensidade, que particularmente estão ligados à atmosfera, como por exemplo: enchentes, secas, geadas, descargas elétricas, tornados, ondas de calor, vendavais, entre outros (ECKHARDT, 2008).

As inundações e enxurradas são originadas por eventos climáticos extremos e constituem-se em fenômenos de ocorrência natural e periódica em todos os ambientes fluviais (CASTRO, 1998; OLIVEIRA, 2010; MARENGO, 2010). Apesar de estes fenômenos ocorrerem naturalmente, diversos estudos (ALCÁNTARA-AYALA, 2002; KOBIYAMA *et al.*, 2004; CRED, 2012; UNESCO, 2012) confirmam o aumento da frequência na qual estes fenômenos causam impactos negativos na sociedade e também o aumento dos prejuízos causados por estes (BRUBACHER *et al.*, 2012).

Quando as águas do rio se elevam até a altura de suas margens, contudo sem transbordar para as áreas adjacentes, é correto afirmar que ocorreu uma enchente (GOERL; KOBIYAMA, 2005; FRANK; SEVEGNANI, 2009). Sendo assim, as expressões enchentes e cheias são sinônimas (SANTOS, 2007), caracterizando o mesmo fenômeno, que consiste na elevação do nível do rio dentro do leito menor, sem que ocorra o extravasamento (TUCCI; BERTONI, 2003; TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009). A partir do momento em que as águas transbordam atingindo o leito maior ou à planície de inundação, é correto dizer que ocorreu inundação (GOERL; KOBIYAMA, 2005; FRANK; SEVEGNANI, 2009). Desta forma, como mencionado por Oliveira (2010), a inundação é uma consequência das enchentes e se constitui em um estágio mais avançado da cheia. Os rios, nos períodos chuvosos, saem do seu leito menor e ocupam o leito maior, em média, a cada dois anos, causando inundações dentro de um processo natural (TUCCI *et al.*, 1995). Por último, as enxurradas (também conhecidas como inundações bruscas)

se diferenciam das inundações principalmente pelo tempo de duração do evento que é mais reduzido, em virtude da elevada velocidade do fenômeno, e pela variação brusca na vazão do rio, tendo um poder destrutivo muito superior às inundações nas áreas suscetíveis a tais fenômenos (CASTRO, 1998; KOBIYAMA *et al.*, 2006; SIRANGELO, 2014).

A partir de 1970, observou-se grande aumento dos impactos causados por desastres naturais na região sul do Brasil, os quais geraram significativos prejuízos socioeconômicos e humanos, pois não só estão mais frequentes como também intensos (MARCELINO, 2008). Países em desenvolvimento, como o Brasil, são particularmente sensíveis aos desastres naturais. Os motivos para isso são complexos, mas estão ligadas ao uso da terra e à desigualdade na distribuição de renda, que acabam por relegar às faixas populacionais de baixa renda os locais de mais alto risco para moradia (BRASIL, 2010). Isso fica claro ao se verificar que os países em desenvolvimento são responsáveis por 95% das mortes decorrentes de desastres naturais entre 1970 e 2008 (IPCC, 2012).

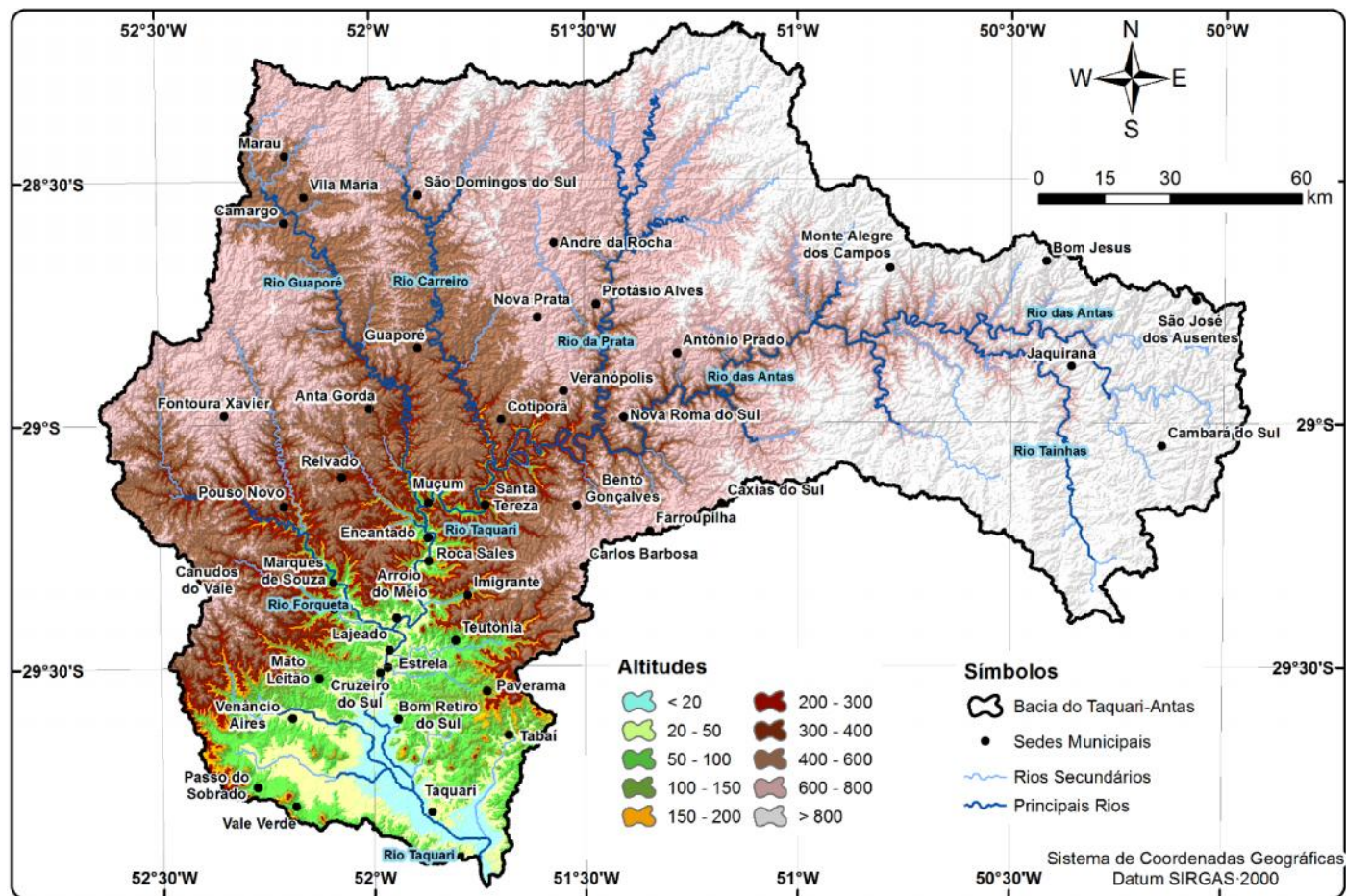
Dentre os desastres naturais que ocorrem no Brasil, as inundações, as enxurradas e os movimentos de massa são os que ocorrem com maior frequência e causam os maiores prejuízos. Estes eventos correspondem a 73% das ocorrências e 82% dos óbitos em função de desastres naturais no Brasil, entre 1900 e 2006 (MARCELINO, 2008).

As inundações e as enxurradas estão entre os desastres naturais mais devastadoras do mundo, levando a prejuízos econômicos e sociais superiores a qualquer outro desastre (ANISOARA *et al.*, 2010). Ao ocupar as áreas de várzeas fluviais, o homem enfrenta sérios problemas com o regime natural dos rios, em que periodicamente verifica-se a ocorrência de eventos hidrológicos extremos. Os municípios ribeirinhos sofrem uma série de impactos negativos nos períodos de precipitações extremas, quando corridas de detritos invadem os fundos de vales e a água dos rios avança sobre as cidades, ocorrendo danificações em equipamentos públicos, a paralisação de atividades econômicas, a contaminação por doenças de veiculação hídrica, perdas materiais e humanas (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas é a principal área de contribuição da Região Hidrográfica do Guaíba, Rio Grande do Sul. A bacia do rio Taquari-Antas (**Figura 1**) encontra-se inserida entre as latitudes 28°10' e 29°57' S e as longitudes 49°55' e 52°38', em uma área de drenagem de 26.428 km². O rio Taquari-Antas pode ser subdividido em dois grandes trechos: i) na porção a montante, sob a definição de rio das Antas, está predominantemente encaixado em um vale cheio de montanhas, alternando poços e corredeiras, eventualmente intercalados por saltos de pequeno porte, com seu percurso marcado por um forte controle estrutural; ii) na porção a jusante, sob a definição de rio Taquari, o vale é formado

predominantemente por depósitos colúvio-aluvionares, possuindo em alguns trechos extensas planícies e terraços fluviais.

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS.



Na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas ocorrem processos hidrológicos extremos e distintos: no Vale do Rio Taquari, por exemplo, predominam as inundações graduais, com aumento de nível do rio na ordem de centímetros por hora, em virtude da grande dimensão da bacia e do elevado tempo de concentração; nos afluentes do rio Taquari, como o Forqueta, o Guaporé e o Carreiro, por outro lado, predominam as inundações bruscas ou enxurradas, com aumento de nível na ordem de metros por hora, em virtude da menor dimensão destas sub-bacias e a consequente redução no tempo de concentração (FERRI; TOGNI, 2012). No segundo caso, a prevenção e o alerta dificilmente podem ser realizadas com antecedência, o que dificulta a ação da Defesa Civil. Entretanto, também as águas voltam ao nível normal de forma mais rápida, o que agiliza o processo de reestruturação pós-desastre. Os prejuízos e as perdas

materiais são mais concentrados no espaço (os eventos atingem áreas menores), porém mais intensos devido à velocidade do processo, podendo ocasionar perdas humanas.

A intensidade dos transtornos está associada, de maneira proporcional, com a magnitude das inundações e enxurradas, podendo gerar efeitos negativos significativos, impactando não só o meio ambiente como um todo, mas também a vida humana e os bens materiais. Both *et al.* (2008) enfatiza que a irregularidade de ocorrência desses eventos extremos causa uma margem de (in)segurança para a ocupação das planícies de inundação, o que reflete no aumento dos gastos do poder público com a retirada da população a cada evento.

No Vale do Taquari existe um plano de prevenção de enchentes (SEPAE - Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes) que evita maiores transtornos, mas nada que impeça que alguns locais sejam surpreendidos em casos de eventos extremos, como o ocorrido em janeiro de 2010. Neste evento, o nível do rio Forqueta (um importante afluente do rio Taquari) chegou a subir 1,1 metros por hora e causou a maior enxurrada registrada na história da cidade de Marques de Souza. A chuva forte que precipitou nos dias 3 e 4 de janeiro de 2010, com grande volume de água que variou de acordo com os municípios de Putinga, Fontoura Xavier, Soledade, entre 180 mm e 240 mm, em pequeno intervalo de tempo (12 horas), causou estragos e desabrigou centenas de pessoas em muitos municípios da bacia hidrográfica (SANTOS, 2010; DA CAS, 2015).

A modelagem, a análise e o mapeamento das áreas atingidas e suscetíveis às inundações e enxurradas são medidas essenciais para o planejamento de municípios que se desenvolvem junto a fundos de vales. Essas medidas podem amenizar os danos decorrentes das inundações em função de um novo reordenamento da expansão das cidades. Os mapas de inundação subsidiam a reorganização do espaço urbano, uma vez que podem ser úteis para o estabelecimento de novas diretrizes de ocupação em uma cidade.

A maior dificuldade para a execução de estudos nesta temática está relacionada à escassez e precariedade dos equipamentos e materiais necessários para essas medidas (estações fluviométricas e pluviométricas, dados topográficos, etc.). Em muitas bacias hidrográficas do Brasil, a disponibilidade de dados hidrológicos é insuficiente para a elaboração de estudos e pesquisas que subsidiem as medidas preventivas (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Por outro lado, alguns materiais estão cada vez mais disponíveis e acessíveis para a utilização em trabalhos relacionados às inundações, compensando parcialmente a escassez dos dados mencionados no

parágrafo anterior. Como exemplo, pode-se citar os dados obtidos por sensoriamento remoto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e as ferramentas de geoprocessamento (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A observação por meio de satélites é uma das maneiras mais efetivas e econômicas de estudar alguns fenômenos da natureza, e permite coletar dados para modelar alterações tanto no meio natural quanto no construído (JENSEN, 2000). Aliados ao sensoriamento remoto, as técnicas de geoprocessamento e os SIGs surgem como recursos dinâmicos que ampliam a capacidade de mapeamento e de análise, principalmente em virtude dos avanços computacionais, que permitem armazenar e analisar uma quantidade cada vez maior de informações geográficas. A combinação desses recursos permite monitorar e simular os eventos decorrentes das cheias, contribuindo com a leitura e compreensão desses fenômenos. O sensoriamento remoto tem-se revelado muito útil para estudos hidrológicos e geomorfológicos em todo mundo (SMITH, 1997). Muitas metodologias já foram testadas para se estimar a vazão e o transporte de sedimentos, para compreender a evolução dos padrões de drenagem e para delimitar as áreas mais suscetíveis às inundações com a utilização desses dados. Na elaboração de mapas de inundação comumente se observa a utilização de imagens orbitais, modelos digitais de elevação (MDEs), dados hidrológicos e informações físicas da bacia, como hidrografia, declividades, solos e vegetação nativa, entre outras.

A utilização de imagens de satélite multiespectrais na elaboração de mapas de inundação foi verificada em diversas obras científicas. Esse tipo de dado geralmente é integrado com outros materiais para conferir maior precisão nos mapeamentos (imagens de radar, MDEs e dados hidrológicos). Dentre as plataformas orbitais mais utilizadas, destacam-se Landsat TM e ETM, MODIS e NOAA. Como exemplos do uso de imagens Landsat para o estudo de inundações, podem-se mencionar os trabalhos de Lougeay *et al.* (1994), Townsend e Walsh (1998) e Qi *et al.* (2009).

No entanto, o mapeamento das áreas inundáveis através de imagens de satélite, pode ser inviabilizado em virtude da curta duração do pico dos eventos e da alta nebulosidade associada ao período de inundação. Além disso, a baixa resolução temporal da maior parte das plataformas orbitais dificulta ainda mais a delimitação precisa do limite do extravasamento das águas.

A questão da nebulosidade pode ser minimizada utilizando imagens de radar para o mapeamento das áreas de inundação. Bons exemplos da aplicação desse tipo de material são observados em Imhoff *et al.* (1987), Alsdorf *et al.* (2000), Brivio *et al.* (2002) e Rosenqvist e Birkett (2002). Porém, o uso de imagens de radar não permite o monitoramento dinâmico do regime fluvial, aspecto importante para a elaboração de medidas vinculadas à previsão de inundações e de áreas afetadas. As imagens de radar só permitem a

identificação da área inundada de um determinado evento se a imagem for adquirida no período de pico da inundação. Além disso, com esse tipo de dado, não é possível conhecer a área de inundação caso um evento futuro tenha outra magnitude (ECKHARDT, 2008).

Desse modo, para se obter bons resultados a respeito da dinâmica das inundações e enxurradas, reforça-se a aplicação de modelos hidrológicos para simular o escoamento e/ou a utilização de modelos digitais de elevação, os quais permitem identificar as áreas inundadas a cada nível de elevação das águas de um determinado curso d'água. A utilização de dados de elevação como fonte primária de informação para o mapeamento de áreas inundáveis também é observada em diversos trabalhos. Nesta revisão, foram destacados os seguintes estudos: Bates e De Roo (2000), Marks e Bates (2000), Yang e Rystedt (2002), Bates *et al.* (2003), Schult e Pinheiro (2003), Haile e Rienties (2005), Eckhardt (2008) e Oliveira (2010). No estudo de Bates e De Roo (2000), a modelagem das áreas de inundação do rio Meuse, na Holanda, foi desenvolvida a partir de MDEs de alta resolução espacial. Os dados de radar foram utilizados para a validação do mapa de inundação. Foram usadas imagens SAR do pico de uma inundação de grande magnitude. Os resultados obtidos foram satisfatórios, apresentando 82% de concordância com o observado na realidade.

Em Marks e Bates (2000) e Bates *et al.* (2003) observam-se a utilização de dados LIDAR (*Airborne Scanning Laser Altimetry*) para simulação de inundações baseado em informações topográficas detalhadas. Nesses estudos, verifica-se a integração desses dados topográficos de alta resolução espacial com modelos de inundação em áreas de várzea.

No estudo de Schult e Pinheiro (2003), foram elaboradas cartas de inundação para o município de Blumenau, em Santa Catarina. As cartas foram elaboradas a partir de um mapa plani-altimétrico na escala 1:2.000, com equidistância das curvas de nível de 1 metro. Neste trabalho, foram levantadas as cotas de inundação das marcas observadas na enchente ocorrida em agosto de 1984, totalizando 879 pontos ao longo da cidade. O traçado da inundação não seguiu uma cota única (definindo uma linha plana), mas sim as diferentes cotas atingidas pela água nos pontos visitados em campo, formando um plano inclinado, igual ao da linha da água na inundação. Este tipo de mapeamento é bastante complexo (exige pontos amostrais de campo), e representa com maior fidelidade o avanço da água sobre a área urbana.

A metodologia de mapeamento apresentada em Schult e Pinheiro (2003) é utilizada também em Eckhardt (2008), no rio Taquari, RS. No entanto, neste último, em virtude do represamento do rio por uma barragem à jusante do posto fluviométrico utilizado, foi considerada uma cota única de inundação para todo município (a água avança de forma plana sobre a cidade). Assim como no estudo anterior, Eckhardt

(2008) utiliza um MDE de alta resolução para modelar as áreas atingidas pelas inundações. Os dados altimétricos foram conjugados com dados fluviométricos para a geração de um modelo cartográfico aplicado ao mapeamento dessas áreas no município de Lajeado. Os resultados obtidos no trabalho foram amplamente satisfatórios, com precisão planimétrica de mapeamento avaliada em poucos metros.

Oliveira (2010) realizou a modelagem de áreas inundáveis na bacia do Caí, em diferentes escalas, envolvendo tanto as áreas rurais quanto as áreas urbanas dos municípios de São Sebastião do Caí e de Montenegro. Foram utilizados dados hidrológicos obtidos em estações fluviométricas, imagens de satélite de alta resolução espacial e MDEs para a espacialização das cotas atingidas pelas águas em cada tempo de retorno.

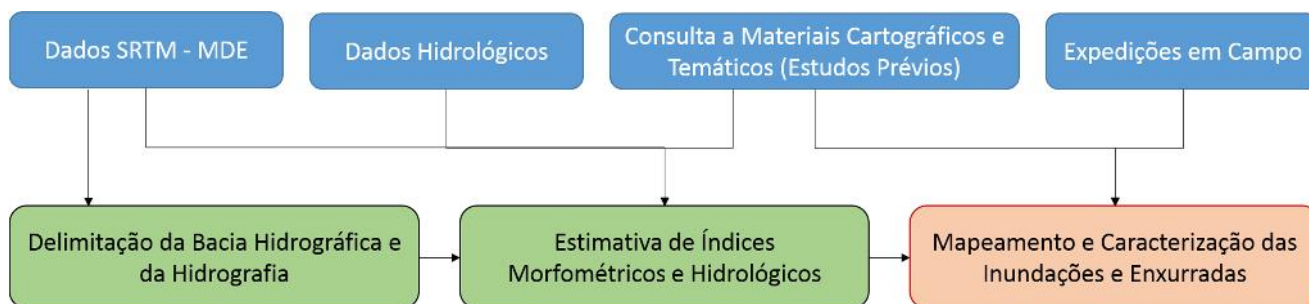
Considerando a importância do tema e a necessidade de aprofundar os conhecimentos relacionados às inundações e enxurradas em escala regional, **o objetivo deste estudo** foi mapear e caracterizar as áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas.

2. METODOLOGIA

A metodologia para mapeamento e caracterização das inundações e enxurradas na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas foi baseada no estudo de Oliveira *et al.* (2010), no qual foi realizado um mapeamento regionalizado das inundações na bacia hidrográfica do rio Caí. Foram utilizados dados SRTM para a modelagem digital da elevação (MDE) visando a delimitação da bacia hidrográfica e da hidrografia e a estimativa de índices morfométricos e hidrológicos. Para auxiliar e validar alguns índices, foram consultados dados hidrológicos disponíveis para a área da bacia, bem como materiais cartográficos e temáticos provenientes de estudos prévios realizados na área de estudo.

O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas foi realizado através da simulação do aumento do nível da água em cada segmento de rio, em função do MDE. Duas expedições em campo foram realizadas tanto para validação quanto para caracterização dos processos hidrológicos que ocorrem na bacia. O fluxograma resumido da metodologia é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma resumido da metodologia para o mapeamento e caracterização das inundações e enxurradas.



2.1. Identificação das linhas de drenagem e da bacia hidrográfica

Os dados obtidos por sensoriamento remoto da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) estão vastamente difundidos e possuem aplicações no âmbito de diagnósticos ambientais e de estudos relacionados às dinâmicas geomorfológicas e hidrológicas, principalmente no âmbito da geração de modelos digitais de superfície (VALERIANO, 2008; PAZ e COLLISCHONN, 2008; BRUBACHER *et al.*, 2012). Tais dados conFiguram-se como uma alternativa importante na minimização de custos e do tempo na produção de estudos no âmbito da análise ambiental, uma vez que possibilitam, de forma rápida e eficiente, a extração de redes de drenagem e a análise morfométrica do terreno a partir de geoprocessamento.

A base de dados altimétricos utilizada foi a SRTM, disponível em uma versão refinada para o território brasileiro através do TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (VALERIANO, 2005; VALERIANO, 2008). As informações altimétricas foram adquiridas em formato *raster* (extensão *GEOTIFF*), com resolução espacial aproximada de 30 metros. As principais justificativas para a utilização deste material se referem à qualidade dos dados para representar o terreno em escalas intermediárias (de 1:100.000 a 1:250.000), à acessibilidade e à gratuidade, que garantem que a mesma metodologia possa ser reproduzida em outras bacias hidrográficas ou regiões do Brasil.

Para a delimitação da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas foi adotado o procedimento automatizado disponível no ArcGIS 10.3. O processo de extração de drenagem utiliza como base a informação de direção de fluxo (*Flow Direction*), derivada da camada de altimetria. A partir da base de direções de fluxo é gerada uma imagem com as áreas de drenagem acumuladas (*Flow Accumulation*), em que cada pixel tem um valor correspondente ao somatório das áreas superficiais de todos os pixels que deságuam nele (PAZ e COLLISCHONN, 2008; JENSON e DOMINGUE, 1988). O plano de informações de áreas de drenagem acumuladas, juntamente das direções de fluxo, é utilizado na delimitação da bacia hidrográfica e das linhas de drenagem.

Como limiar para considerar o início da hidrografia (localização das nascentes), foi utilizado um valor de 1 km² para área de drenagem acumulada. Este valor gera uma densidade de nascentes semelhante à cartografia na escala 1:50.000 da Divisão de Serviços Geográficos do Exército (DSG), digitalizada e vetorizada por Hasenack e Weber (2010).

2.2. Estimativa de índices morfométricos e hidrológicos

Após identificação da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas e da hidrografia, foi realizada a estimativa de índices morfométricos e hidrológicos para cada segmento de linha de drenagem. Os seguintes índices foram obtidos:

- i) Área de drenagem acumulada (A);
- ii) Comprimento de drenagem acumulado desde a nascente mais distante (L);
- iii) Declividade média da drenagem principal a montante (S);
- iv) Tempo de concentração (tc);
- v) Vazão média diária máxima anual (Q_{max}) e vazões máximas associadas aos tempos de retorno (TRs) de 5, 10, 20, 50 e 100 anos (Q_{max5}, Q_{max10}, Q_{max20}, Q_{max50} e Q_{max100}).

A obtenção da área de drenagem acumulada (A) já foi mencionada na etapa anterior, pois se trata de um pré-requisito para a delimitação da bacia e da hidrografia. O comprimento de drenagem acumulado desde a nascente mais distante (L) foi obtido através da ferramenta *Flow Length*, no modo *Upstream*. Nesta função é realizado o cálculo da distância pelas linhas de drenagem de cada ponto na bacia em relação a sua nascente mais distante.

Já para o cálculo da declividade média de cada linha de drenagem (S) não há uma ferramenta disponível nos principais SIGs, sejam comerciais ou gratuitos. Assim, para isso foi necessário realizar um procedimento semiautomático que consistiu em: i) extrair as nascentes, ii) identificar para cada linha de drenagem qual é a sua nascente mais distante, iii) extrair a altimetria para cada nascente e para cada vértice da linha de drenagem.

A obtenção das nascentes pode ser realizada automaticamente, bastando converter as linhas de drenagem de primeira ordem (sem afluentes) para o formato de pontos, porém considerando apenas o vértice inicial. Isso pode ser realizado na função *Feature Vertices to Points* do software ArcGIS 10.3. Já para associar cada segmento da hidrografia a sua nascente mais distante foi realizado um processo manual, de montante a jusante, nas hidrografias de 2^a ordem em diante, até que cada segmento de drenagem na bacia

hidrográfica tenha um campo na Tabela de atributos não-espaciais indicando qual é a sua respectiva nascente (através de um código para cada nascente).

Uma vez que a hidrografia estava com a Tabela de atributos associada através de um código identificador à Tabela de nascentes, foi possível extrair os valores altimétricos (*Extract Values to Points*) provenientes da base SRTM-TOPODATA tanto para as nascentes quanto para cada vértice das linhas de hidrografia. A partir disso, pode-se calcular para cada vértice das linhas de drenagem a declividade média a montante de cada linha de drenagem (S), através da Equação 1:

$$S_i = \frac{Z_n - Z_i}{L_i} \quad (1)$$

Em que: S_i é a declividade média da drenagem principal a montante no pixel i ; Z_n é a altitude da nascente n relacionada ao pixel i ; Z_i é a altitude do pixel i ; L_i é o comprimento de drenagem acumulado desde a nascente n até o pixel i .

O tempo de concentração (tc) é o intervalo de tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial na seção de saída, isto é, no exutório da bacia (TUCCI, 2014). Quanto ao cálculo do tc , tendo em vista a diversidade de equações empíricas para a estimativa deste índice hidrológico, optou-se por testar a aplicação de cinco diferentes metodologias, aplicáveis em bacias hidrográficas de diferentes dimensões, utilizando-se como variáveis de entrada apenas os valores de A , L e S . Os métodos testados foram os seguintes: i) Dooge (**Equação 2**); ii) Johnstone (**Equação 3**); iii) Corps of Engineers (**Equação 4**); iv) Kirpich (**Equação 5**); v) Ven te Chow (**Equação 6**). Estas equações foram consultadas no estudo de Silveira (2005).

$$tc = 0,365A^{0,41}S^{-0,17} \quad (2)$$

$$tc = 0,462L^{0,5}S^{-0,25} \quad (3)$$

$$tc = 0,191L^{0,76}S^{-0,19} \quad (4)$$

$$tc = 0,0663L^{0,77}S^{-0,385} \quad (5)$$

$$tc = 0,16L^{0,64}S^{-0,32} \quad (6)$$

A validação para selecionar o método mais eficiente para a estimativa do tempo de concentração em alguns segmentos da bacia do Taquari-Antas foi realizada através da análise de dados horários de cotas (cotagramas) das estações fluviométricas de Estrela (Rio Taquari), do Forqueta e de Marques de Souza (Rio Forqueta) e do Rio das Antas, disponibilizados pelo Centro de Informações Hidrometeorológicas (CIH), do Centro Universitário Univates, através do website <http://netsenses.univates.br/>. Para identificar o fim da precipitação, considerou-se as estações pluviométricas de Fontoura Xavier e Monte Alegre dos

Campos (CIH-Univates), Soledade e São José dos Ausentes (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET). O procedimento adotado para a identificação do fim do escoamento superficial é o descrito por Chow, Maidment e Mays (1994). Além disso, foi consultado o estudo de Kurek (2016) que analisou cotogramas diários em algumas estações fluviométricas do Vale do Taquari.

Por fim, quanto à estimativa da vazão média diária máxima anual (Q_{max}) e das vazões máximas associadas aos TRs de 5, 10, 20, 50 e 100 anos (Q_{max5} , Q_{max10} , Q_{max20} , Q_{max50} e Q_{max100}), o procedimento adotado consiste na regionalização de vazões máximas na bacia. Nesta etapa, foi adotado o procedimento metodológico sugerido por Tucci (2014), que consiste nos seguintes passos:

i) Escolha dos postos fluviométricos e suas respectivas séries hidrológicas em função da disponibilidade e consistência dos dados: foram utilizadas as séries hidrológicas listadas na Tabela 1, obtidas no portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA).

ii) Cálculo da vazão média diária máxima anual (Q_{max}) para cada estação fluviométrica escolhida: neste passo foi identificada a maior vazão diária em cada ano hidrológico para todas as estações selecionadas. O ano hidrológico foi considerado de abril a março, tendo em vista que os meses de março e abril normalmente são os mais secos, quando predominam as estiagens.

iii) Cálculo da vazão adimensional para as séries de máximos anuais para cada estação fluviométrica: uma vez que as séries utilizadas se referem a estações fluviométricas instaladas em rios com muita diferença de área de drenagem e vazão, é necessário transformar os valores de vazão máxima anual para valores adimensionais, dividindo-se cada vazão máxima anual pela vazão média diária máxima anual (Q_{max}).

iv) Ajuste de distribuições de probabilidades para os valores extremos, considerando as séries adimensionais: o ajuste de distribuições estatísticas é necessário para estimar os valores adimensionais de vazão para os TRs de 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Foram testadas as distribuições GEV, Gama, Gumbel e Log-Pearson Tipo III. O teste de aderência utilizado foi o de Kolmogorov-Smirnov, a um nível de significância de 0,05.

v) Definição de uma curva regional, conforme a tendência observada após os ajustes estatísticos realizados às séries adimensionais em cada estação fluviométrica: neste passo, optou-se por calcular o valor médio adimensional para cada TR, considerando todas as séries hidrológicas selecionadas.

vi) Estimativa da vazão média diária máxima anual (Q_{max}) em função da área de drenagem acumulada (A), através de uma regressão: Foi realizado o ajuste de um modelo de regressão, buscando relacionar os

valores de Q_{max} em função de A , para estimar a vazão média diária máxima anual para qualquer ponto da bacia com área conhecida.

vii) Estimativa dos valores de vazão máxima associados aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos (Q_{max5} , Q_{max10} , Q_{max20} , Q_{max50} e Q_{max100}): a partir dos valores de Q_{max} obtidos por meio da equação ajustada no passo anterior (vi) e dos valores de vazão adimensionais obtidos na curva regional (v), é possível estimar a vazão para diferentes TRs em qualquer ponto da bacia hidrográfica com área conhecida.

2.3. Identificação e caracterização das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas.

Nesta etapa, foram realizados o mapeamento e a caracterização das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na bacia hidrográfica do Taquari-Antas. Para tanto, foram consultadas todas as séries hidrológicas de cotas disponíveis no portal Hidroweb da ANA para analisar o aumento do nível do rio em relação à cota média histórica. Além disso, foi consultada a base cartográfica de geomorfologia da bacia hidrográfica, atualizada e refinada no estudo de Oliveira *et al.* (2015) para auxiliar na caracterização das áreas suscetíveis. Também foram realizadas duas expedições em campo tanto para validação quanto para caracterização dos processos hidrológicos que ocorrem na bacia. As áreas urbanas atingidas por eventos hidrológicos extremos visitadas nas expedições foram de: Taquari, Vila Mariante, Venâncio Aires, Cruzeiro do Sul, Lajeado, Estrela, Arroio do Meio, Marques de Souza, Encantado, Muçum e Santa Tereza.

Tabela 1 - Séries hidrológicas utilizadas no procedimento de regionalização das vazões máximas na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas.

Código	Nome da Estação	Área de Drenagem (km²)	Período
86100000	Passo do Gabriel	1.820	1940-2006
86160000	Passo Tainhas	1.120	1940-2006
86410000	Passo Barra do Guaiaveira	2.820	1956-2006
86420000	Ponte do Prata	317	1959-2006
86480000	Passo Migliavaca	1.330	1956-2006
86500000	Passo Carreiro	1.820	1939-2006
86510000	Muçum	16.000	1940-2006
86560000	Linha Colombo	2.030	1939-2006
86580000	Santa Lúcia	2.470	1940-2006
86700000	Ponte Jacaré	436	1943-2006
86720000	Encantado	19.100	1941-2006
86745000	Passo do Coimbra	791	1957-2006

Após a análise de todos os dados disponíveis, foram definidos os critérios e os procedimentos para a delimitação de áreas suscetíveis a inundações e enxurradas. Optou-se por demarcar essas áreas em função do aumento do nível dos rios observado nas séries históricas. Uma vez que são conhecidas as altitudes de cada segmento de linha da hidrografia e também a altura atingida frequentemente pelas águas em locais com estações fluviométricas, é possível também estimar a cota altimétrica atingida pelas águas nos segmentos de hidrografia.

O mapeamento foi dividido em duas classes: i) áreas atingidas de modo frequente; ii) áreas atingidas de modo remoto. Na primeira classe foi considerado o valor frequentemente atingido pelas águas em cada estação fluviométrica, em TR de aproximadamente 5 anos. Na segunda classe foi considerado o maior valor de nível registrado em cada estação fluviométrica.

Com base nessas condições, o mapeamento foi realizado através de técnicas de geoprocessamento, utilizando-se como MDE a base de dados SRTM-TOPODATA. Em seguida, as cotas de inundações e enxurradas (frequentes ou remotas) foram interpoladas ao longo dos principais cursos d'água, considerando somente os segmentos com área de drenagem igual ou maior que 20 km² e em altitudes inferiores a 800 metros, limiar que demarca os limites entre a Serra Geral (áreas com ocorrências de enxurradas) e os Campos Gerais (áreas mais altas da bacia, com relevo levemente ondulado a plano).

O mapeamento final é obtido utilizando a ferramenta “*Raster Calculator*” do ArcGIS 10.3, subtraindo a base de cotas atingidas pela base altimétrica, o que gera uma mancha de inundação. Na Tabela 2 são apresentados os critérios utilizados para a delimitação das áreas com ocorrência de inundações e enxurradas frequentes e remotas (raras). Os valores apresentados são aproximados levando-se em consideração a análise dos dados hidrológicos de cotas e os relatos e registros obtidos em campo.

A caracterização das áreas suscetíveis em relação ao tipo de evento (inundações ou enxurradas) foi realizada em pontos de interesse ao longo dos principais cursos d'água da bacia, em função dos índices morfométricos e hidrológicos obtidos na etapa anterior, e também em função de aspectos geomorfológicos observados na base cartográfica de geomorfologia e nas expedições em campo. Além disso, também foram identificados e quantificados os municípios mais atingidos (malha municipal obtida junto ao IBGE), as áreas urbanas (desenhadas no Google Earth) sobrepostas às áreas suscetíveis e os tipos de uso e ocupação da terra (base digital obtida junto ao IBGE).

Tabela 2 - Aumento no nível do rio (m) utilizados para o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na bacia do rio Taquari-Antas.

Rios	Municípios	Aumento no nível do rio (m) - Valor aproximado	
		Frequente (TR = 5 anos)	Remoto (Maior cheia)
Taquari	Taquari	7	14
	Vila Mariante (Venâncio Aires)	7	15
	Bom Retiro do Sul	8	16
	Cruzeiro do Sul	9	17
	Lajeado/Estrela	9	17
	Arroio do Meio	9	17
	Roca Sales	10	18
	Encantado	10	18
	Muçum	10	18
	Santa Tereza	9	17
Antas	Veranópolis/Bento Gonçalves	9	17
	Pinto Bandeira/Nova Roma do Sul	8	16
	Antônio Prado/Nova Pádua	8	16
	Caxias do Sul/Monte Alegre dos Campos	6	12
	Bom Jesus/Jaquirana	5	10
	Bom Jesus/Jaquirana (Montante)	5	10
Prata	Veranópolis/Nova Roma do Sul	6	12
	Antônio Prado/Protásio Alves	5	10
	André da Rocha/Guabiju	4	8
Forqueta	Lajeado/Arroio do Meio	6	12
	Forqueta (Arroio do Meio)	6	12
	Marques de Souza/Travesseiro	5	10
	Tamanduá (Marques de Souza)	5	10
	Pouso Novo/Travesseiro	4	8
	Putinga/Fontoura Xavier	4	8
Carreiro	São Valentin do Sul/Cotiporã	6	12
	Guaporé/Vista Alegre do Prata	5	10
	Serafina Corrêa/Nova Bassano	4	8

Rios	Municípios	Aumento no nível do rio (m) - Valor aproximado	
		Frequente (TR = 5 anos)	Remoto (Maior cheia)
	Paráí/São Domingos do Sul	4	8
Guaporé	Encantado/Muçum	6	12
	Anta Gorda/Guaporé	5	10
	Montauri/Nova Alvorada	4	8
	Vila Maria/Camargo	4	8
Tainhas	São Francisco de Paula/Jaquirana	4	8
	Jaquirana	4	8
Fão	Pouso Novo/Marques de Souza	5	10
	Barros Cassal/Fontoura Xavier	4	8
Telha	Muitos Capões/Ipê	4	8
Turvo	Muitos Capões/André da Rocha	4	8
Lajeado Grande	São Francisco de Paula/Caxias do Sul	4	8
Refugiado	Vacaria	4	8
Camisas	Cambará do Sul/Jaquirana	4	8
São Domingos	Casca/São Domingos do Sul	4	8
Taquari-Mirim	Venâncio Aires/Vale Verde	5	10
Arroio Boa Vista	Foz (Estrela)	5	10
	Teutônia	4	8
Arroio Castelhanao	Jusante (Venâncio Aires)	5	10
	Área Urbana (Venâncio Aires)	5	10
	Monte Alverne (Santa Cruz do Sul)	4	7
Arroio Jacaré	Encantado	5	9
Arroio Forquetinha	Forquetinha	5	10
Arroio Santa Cruz	Taquari/Triunfo	5	10
	Tabaí	4	8
Arroio São Tomé	São Francisco de Paula	4	8
Arroio Estrela	Foz (Estrela)	5	10
	Teutônia	4	8
Arroio Marau	Marau	4	7
Arroio Capivara	Taquari	4	7

Rios	Municípios	Aumento no nível do rio (m) - Valor aproximado	
		Frequente (TR = 5 anos)	Remoto (Maior cheia)
Arroio Bonito	Venâncio Aires/Cruzeiro do Sul	4	8
	Mato Leitão	3	6
Arroio do Potreiro	Taquari	4	7
Demais arroios com área de drenagem > 20 km ²	-	3	6

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados do estudo. Na primeira parte do capítulo será abordada a estimativa de índices morfométricos e hidrológicos por sub-bacia, considerando o rio principal e alguns dos principais afluentes. Já a segunda parte se refere ao mapeamento e caracterização das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas.

3.1. Índices morfométricos e hidrológicos referentes à bacia hidrográfica do Taquari-Antas

A **Figura 3** ilustra a subdivisão em sub-bacias e seus respectivos valores de área de drenagem acumulada (A), comprimento do rio principal desde a nascente mais distante (L), declividade média do rio principal (S), tempo de concentração (tc), vazão média diária máxima anual (Q_{max}) e vazões máximas associadas aos TRs de 5, 10, 20, 50 e 100 anos (Q_{max5} , Q_{max10} , Q_{max20} , Q_{max50} e Q_{max100}).

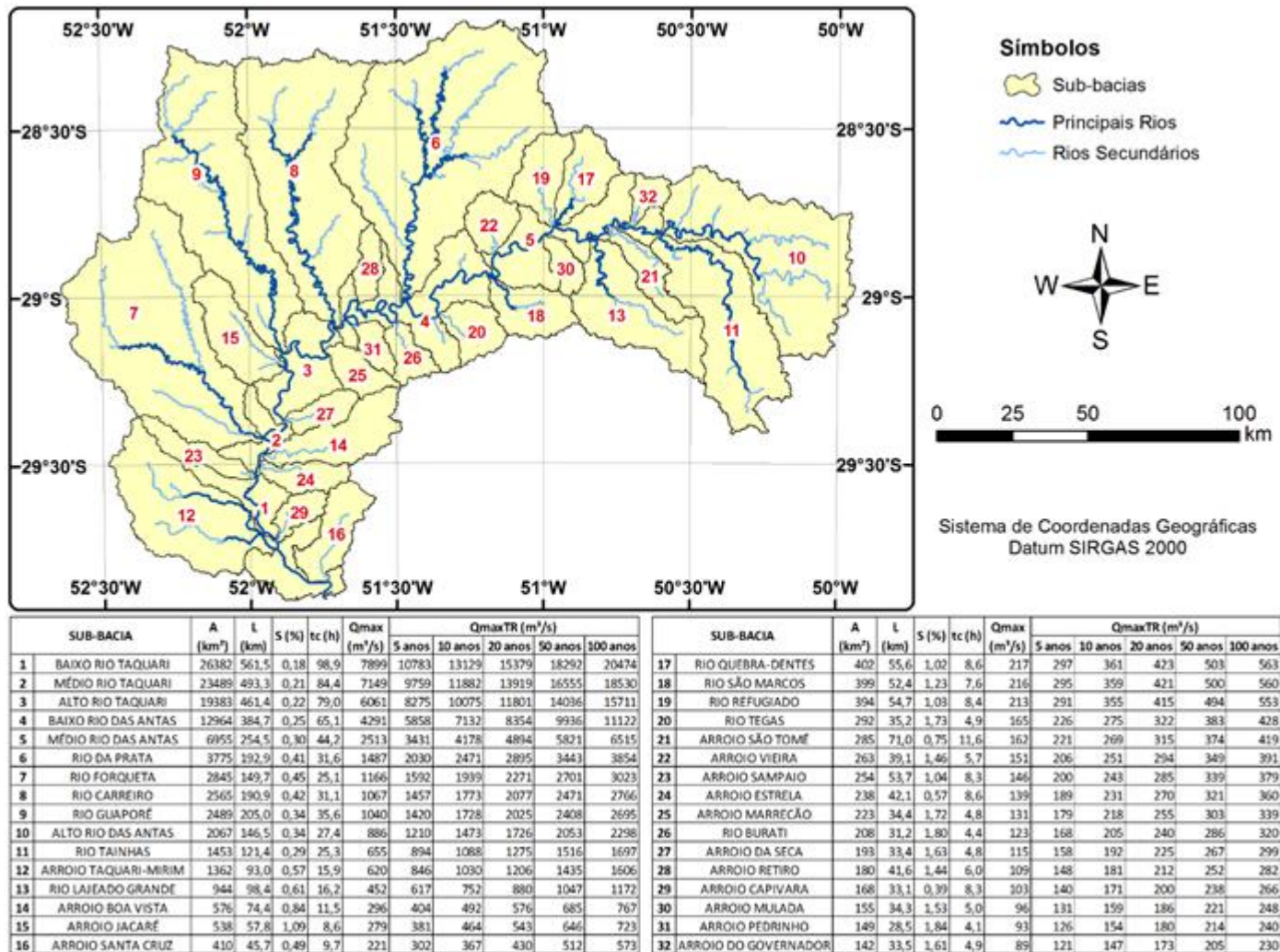
Em relação à área de drenagem acumulada (A), além do rio Taquari (26.382 km²) e do rio das Antas (12.964 km²), que representam a principal linha de drenagem da bacia, outros afluentes se destacam em tamanho: rio da Prata (3.775 km²), rio Forqueta (2.845 km²), rio Carreiro (2.565 km²) e rio Guaporé (2.489 km²). Estas quatro sub-bacias representam juntas 44% de toda a bacia do rio Taquari-Antas e possuem dimensões relativamente semelhantes, o que indica uma contribuição significativa em termos de volume de água e, possivelmente, que suas águas chegam ao rio principal em intervalo de tempo próximo, o que favorece a ocorrência de variações abruptas na vazão do rio Taquari-Antas.

Considerando a base de dados SRTM-TOPODATA e o índice relacionado ao comprimento do rio principal desde a nascente mais distante (L), o destaque é para o rio das Antas, que possui uma extensão de 384,7 km. Somando-se ao rio Taquari, o canal principal possui 561,5 km. Os principais afluentes neste índice são o rio Guaporé (205 km), o rio da Prata (193 km) e o rio Carreiro (191 km). O rio Guaporé (Bacia 9 – **Figura 3**), embora tenha uma área de drenagem inferior aos rios da Prata (Bacia 6), Forqueta (Bacia 7) e Carreiro (Bacia 8), possui uma forma mais alongada, com o rio principal repleto de curvas e cotovelos, escoando por uma linha central na bacia. Estes aspectos favorecem a maior extensão do rio principal em relação às bacias vizinhas.

Quanto à declividade média do rio principal (S), destacam-se as bacias menores, com rios de comprimentos inferiores e amplitude altimétrica considerável, principalmente na porção central e montante da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas: Arroio Pedrinho (Bacia 31 – **Figura 3**), Rio Burati (Bacia 26), Rio Tegas (Bacia 20), Arroio Marrecão (Bacia 25), com declividade do rio variando entre

1,72% e 1,84%. O rio Taquari-Antas possui uma declividade média de 0,18%, sendo que as maiores declividades no rio são observadas principalmente nos trechos referentes ao Alto e Médio Rio das Antas.

Figura 3 - Índices morfométricos e hidrológicos estimados para sub-bacias do Taquari-Antas.



Os valores de tempo de concentração (tc) apresentados na Figura 3 foram obtidos por meio do método de Kirpich (Equação 5). A escolha desse método em relação aos outros quatro testados se deve ao melhor ajuste em relação aos cotogramas observados em três das quatro seções analisadas.

O primeiro cotograma analisado se refere à seção da estação fluviométrica de Estrela, localizada no rio Taquari junto ao Porto Fluvial de Estrela. Nesta seção, utilizando-se dados horários disponibilizados pelo CIH-Univates foram analisadas três cheias: i) 06/06/2014; ii) 29/06/2014; iii) 20/10/2014. A Tabela 3 ilustra uma síntese dos resultados referentes à estimativa do tempo de concentração na seção do rio Taquari, referente ao Porto de Estrela. O método que apresentou resultados mais consistentes nesta seção foi o de Ven te Chow, com erro médio de 4,3%. O pior desempenho foi obtido com a equação de Kirpich, com erro de 44,3%.

No primeiro evento, o fim da precipitação em postos pluviométricos de cabeceiras de drenagem distantes da seção (Monte Alegre dos Campos e São José dos Ausentes) ocorreu às 19 horas do dia 05/06, aproximadamente. O fim do escoamento superficial ocorreu em torno de 1 hora do dia 08/06, totalizando mais de 54 horas de tempo de concentração. No segundo evento, o fim da precipitação ocorreu às 6 horas do dia 29/06, aproximadamente. O fim do escoamento superficial ocorreu em torno de 17 horas do dia 01/07, totalizando 59 horas de tempo de concentração. Por fim, no terceiro evento, o fim da precipitação ocorreu às 10 horas do dia 19/10. Já o fim do escoamento superficial ocorreu em torno de 22 horas e 30 minutos do dia 21/10, totalizando 60,5 horas de tempo de concentração.

Tabela 3 - Síntese da estimativa do tempo de concentração na seção do Porto de Estrela, rio Taquari.

Evento	Fim da Chuva	Fim do Escoamento Superficial	tc (h)	tc (h) Kurek (2016)	tc (h) Dooge	tc (h) Johnstone	tc (h) Corps of Engineers	tc (h) Kirpich	tc (h) Ven te Chow
1	05/06/14 18:45	08/06/14 01:15	54,50						
2	29/06/14 06:15	01/07/14 17:00	58,75	72	64,2	47,7	67,9	83,6	60,4
3	19/10/14 10:00	21/10/14 22:30	60,50						
Média e Erro Médio (%)			58	-	10,8%	-17,6%	17,2%	44,3%	4,3%

O segundo cotograma analisado se refere à seção da estação fluviométrica de Marques de Souza, localizada no rio Forqueta. Nesta seção, utilizando-se dados horários disponibilizados pelo CIH-Univates foram analisadas quatro cheias: i) 06/06/2014; ii) 30/06/2014; iii) 24/07/2014; iv) 20/10/2014. A Tabela 4 ilustra uma síntese dos resultados referentes à estimativa do tempo de concentração nessa seção. Pode-se observar que o método que apresentou resultados mais consistentes nesta seção foi o de Kirpich, com erro médio de -25,7%. O pior desempenho foi obtido com a equação de Ven te Chow, com erro de -32,3%.

O terceiro cotograma analisado se refere à seção da estação fluviométrica do Forqueta, localizada em Arroio do Meio, no rio Forqueta. Nesta seção foram analisadas duas cheias: i) 06/06/2014; ii) 20/10/2014. A Tabela 5 ilustra uma síntese dos resultados referentes à estimativa do tempo de concentração nessa seção. De acordo com os resultados obtidos, o método que apresentou maior consistência foi o de Kirpich, com erro médio de -49,9%. O pior desempenho foi obtido com a equação de Johnstone, com erro de -56,2%.

Tabela 4 - Síntese da estimativa do tempo de concentração na seção Marques de Souza, rio Forqueta.

Evento	Fim da Chuva	Fim do Escoamento Superficial	tc (h)	tc (h) Kurek (2016)	tc (h) Dooge	tc (h) Johnstone	tc (h) Corps of Engineers	tc (h) Kirpich	tc (h) Ven te Chow
1	05/06/14 19:00	07/06/14 00:00	29,00						
2	30/06/14 03:45	01/07/14 03:15	23,50	-	21,1	19,7	21,0	21,4	19,5
3	24/07/14 21:45	25/07/14 23:00	25,25						
4	19/10/14 12:00	21/10/14 01:30	37,50						
Média e Erro Médio (%)			29	-	-26,8%	-31,6%	-27,1%	-25,7%	-32,3%

Tabela 5 - Síntese da estimativa do tempo de concentração na seção Forqueta, na divisa entre Arroio do Meio e Lajeado, rio Forqueta.

Evento	Fim da Chuva	Fim do Escoamento Superficial	tc (h)	tc (h) Kurek (2016)	tc (h) Dooge	tc (h) Johnstone	tc (h) Corps of Engineers	tc (h) Kirpich	tc (h) Ven te Chow
1	05/06/14 19:00	07/06/14 22:15	51,25	48	23,8	21,5	23,6	24,6	21,9
2	19/10/14 12:00	21/10/14 11:00	47,00						
Média e Erro Médio (%)			49	-	-51,6%	-56,2%	-52,0%	-49,9%	-55,4%

O último cotograma analisado se refere à seção da estação fluviométrica das Antas, localizada entre os municípios de Bento Gonçalves e Veranópolis, no rio das Antas. Nesta seção foi analisada apenas a cheia do dia 20/10/2014. A Tabela 6 apresenta uma síntese dos resultados referentes à estimativa do tempo de concentração nessa seção. De acordo com os resultados obtidos, o método que apresentou maior consistência foi o de Kirpich, com erro médio de apenas 0,4%. O pior desempenho foi obtido com a equação de Johnstone, com erro de -33,1%.

É importante destacar que a seção referente à estação fluviométrica do Forqueta está localizada próxima à foz do rio Forqueta, que deságua no rio Taquari, o que justifica as maiores taxas de erro e a dificuldade de estimar o tempo de concentração com as equações testadas. Isso se deve ao fato de haver o represamento das águas do rio Forqueta em períodos de cheias (efeito remanso), retardando a retração do nível do rio e afetando a análise do tempo de concentração.

Tabela 6 - Síntese da estimativa do tempo de concentração na seção Rio das Antas, na divisa entre Bento Gonçalves e Veranópolis.

Evento	Fim da Chuva	Fim do Escoamento Superficial	tc (h)	tc (h) Kurek (2016)	tc (h) Dooge	tc (h) Johnstone	tc (h) Corps of Engineers	tc (h) Kirpich	tc (h) Ven te Chow
1	19/10/14 09:00	21/10/14 14:30	53,50	-	46,8	35,8	46,4	53,7	41,9
Erro Médio (%)				-	-12,5%	-33,1%	-13,3%	0,4%	-21,7%

Além disso, comparando o tempo de concentração do rio Forqueta com o do rio Taquari a diferença é de apenas 9 horas, ainda que os índices morfométricos A, L e S sejam muito distintos. Isso reforça a relativa imprecisão no uso de equações que foram elaboradas em condições muito diferentes das bacias brasileiras e, em especial, da bacia estudada neste trabalho.

O estudo de Kurek (2016) também realizou análises em cotogramas para estimar o tempo de concentração em alguns pontos da bacia, porém apenas com dados diários. A autora concluiu que o tempo de concentração do rio Taquari é igual ou superior a três dias, no trecho entre Muçum e o exutório da bacia. Os principais afluentes (rios Carreiro, Guaporé, Prata e Forqueta) apresentaram um tempo de concentração aproximado de dois dias, desaguando praticamente ao mesmo tempo no rio principal.

Considerando também os valores apresentados por Kurek (2016), o método de Kirpich é que o melhor se aproxima dos resultados esperados para o tempo de concentração. Estes resultados são em parte surpreendentes, já que o método de Kirpich foi proposto para pequenas bacias rurais com menos de 1 km². No entanto, é importante considerar que outros estudos já confirmaram que a mesma pode ser extrapolada, podendo obter resultados satisfatórios em bacias maiores. Um exemplo é o estudo de Silveira (2005) que observou resultados muito satisfatórios com o uso das equações de Kirpich e de Ven te Chow para bacias de até 11.162 km², com erro médio de -9% e -7%, respectivamente.

É importante mencionar, a partir da análise dos cotogramas, que a equação de Kirpich apresentou uma tendência de superestimar o tempo de concentração em bacias maiores (rio Taquari) e de subestimar os valores em bacias um pouco menores (os afluentes que apresentam represamento das águas em virtude das cheias no rio principal), como foi o caso do rio Forqueta.

Os últimos índices estimados para os diversos segmentos da hidrografia da bacia se referem às vazões máximas (Figura 3), tendo sido realizado a partir do método de regionalização de vazões. Foram utilizados dados hidrológicos de 12 postos fluviométricos, no período entre 1939 e 2006, com algumas falhas, variando de uma estação para outra. Os anos hidrológicos incompletos foram desconsiderados do cálculo das vazões máximas anuais. A área das bacias no processo de regionalização foi de 317 km² a 19.100 km².

A curva regional de vazões adimensionais para a estimativa de vazões máximas na região do Taquari-Antas (Figura 4) indica que, para um TR de 5 anos, a vazão máxima (Q_{max_5}) tende a ser 1,37 vezes maior do que a Q_{max} (média das vazões máximas anuais). Já para TRs maiores, como 100 anos ($Q_{max_{100}}$), a vazão máxima de curta recorrência tende a ser aproximadamente 2,59 vezes maior do que Q_{max} .

Para a estimativa de Q_{max} em cada ponto da bacia, foi utilizada a função apresentada na Figura 5, obtida por uma regressão que calcula a vazão Q_{max} em função da área de drenagem (A). Este ajuste obteve um resultado satisfatório com um coeficiente de determinação de 0,935.

Figura 4 - Curva regional de vazões adimensionais para estimativa de vazão máxima por tempo de retorno, válida para a região do Taquari-Antas, RS.

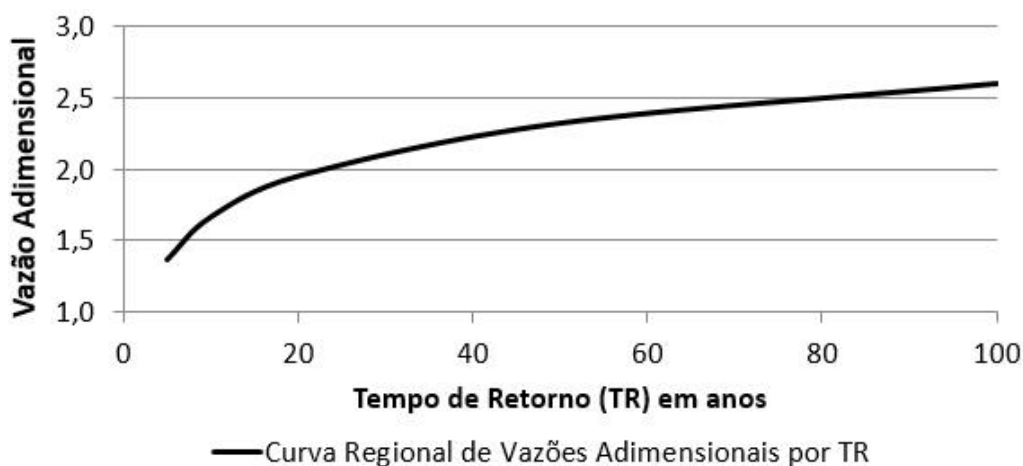
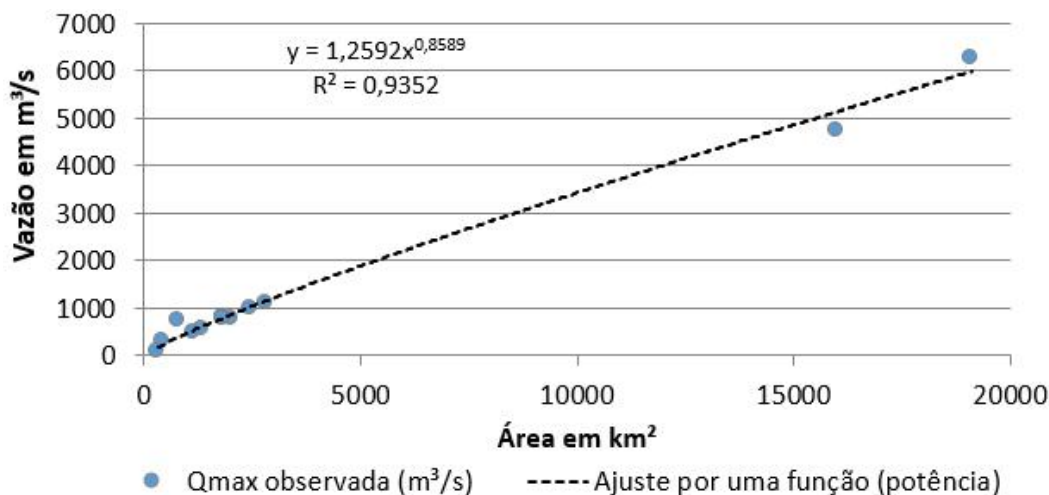


Figura 5 - Função para estimativa da vazão média diária máxima anual (Q_{max}) em função da área da bacia, válida para a região do Taquari-Antas, RS.



A vazão máxima anual (Q_{max}) do rio Taquari se aproxima de $7.900 \text{ m}^3/\text{s}$ no seu trecho final, junto à foz no rio Jacuí. No rio das Antas, no seu trecho baixo, próximo à confluência do rio Carreiro, os valores de Q_{max} são de aproximadamente $4.300 \text{ m}^3/\text{s}$. Dentre os afluentes do rio Taquari-Antas, se destacam os rios da Prata ($\sim 1.490 \text{ m}^3/\text{s}$), Forqueta ($\sim 1.170 \text{ m}^3/\text{s}$), Carreiro ($\sim 1.070 \text{ m}^3/\text{s}$) e Guaporé ($\sim 1.040 \text{ m}^3/\text{s}$).

Em TRs maiores, referentes às inundações menos frequentes e de maior magnitude, a vazão média diária pode ultrapassar $20.000 \text{ m}^3/\text{s}$ no trecho baixo do rio Taquari (Figura 3). Além dos afluentes já mencionados, outros podem apresentar vazões extremas em TR de 100 anos (Q_{max100}), como o rio Tainhas ($\sim 1.700 \text{ m}^3/\text{s}$), o arroio Taquari-Mirim ($\sim 1.600 \text{ m}^3/\text{s}$) e o arroio Lajeado Grande ($\sim 1.170 \text{ m}^3/\text{s}$).

3.2. Mapeamento e caracterização das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas.

O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas foi realizado tendo como base o aumento do nível dos rios (Tabela 2) verificado nas séries históricas disponíveis, com apoio de expedições a campo. A base altimétrica utilizada foi a SRTM-TOPODATA.

A Figura 6 ilustra as áreas suscetíveis a esses eventos, com maior ou menor frequência, bem como alguns pontos de interesse que serão caracterizados nos parágrafos seguintes. Os resultados detalhados para cada ponto de interesse destacado no mapa, quanto à área de drenagem, comprimento do rio principal a montante, declividade do rio principal a montante, tempo de concentração e vazões extremas estão disponíveis na Tabela 7.

No rio Taquari, no trecho a jusante de Encantado (entre os pontos 1 e 9 – Figura 6), o fenômeno predominante são as inundações. Da foz do rio Taquari, entre Triunfo e General Câmara (Ponto 1), à Encantado (Ponto 9), o rio apresenta aproximadamente 120 km de extensão. Neste longo trecho, a resposta hidrológica é lenta e gradual em virtude do comprimento do rio principal (superior a 439 km a partir de Encantado) e da área da drenagem (superior a 19.000 km^2 a partir de Encantado). Além disso, neste trecho, a declividade do rio se torna bem inferior, fazendo com que a velocidade do fluxo seja reduzida, favorecendo o acúmulo das águas. O tempo de concentração (t_c) é igual ou superior a 3 dias (Tabela 7).

No contexto geomorfológico, fica evidente a tendência à ocorrência de inundações mais graduais neste trecho, tendo-se em vista a presença de depósitos sedimentares recentes (terraços e planícies fluviais), com granulometria fina e pouca presença de cascalhos ou sedimentos mais grosseiros. Além disso, a largura das planícies ou terraços onde se depositam os sedimentos carreados pelas águas do rio se torna cada vez maior entre Encantado e Triunfo, geralmente superior a 1.000 metros, chegando a ultrapassar

os 8.000 metros, nas proximidades de Vila Mariante, como pode ser observado na Figura 1, que ilustra as altimetrias da bacia e destaca a abertura do vale do rio após Encantado.

Em termos de volume de água, pode-se estimar que a vazão supere os 6000 m³/s nas maiores cheias ou inundações de cada ano. Através do cálculo de regionalização de vazões realizado, estima-se que a maior vazão média diária em cada ano é de, aproximadamente, 7.900 m³/s próximo à foz do rio (Ponto 1) e 7.000 m³/s na seção Lajeado/Estrela (Ponto 6). Convém ressaltar que este valor se refere às vazões médias diárias, o que significa que a vazão no momento do pico da cheia ou inundações deve superar estas estimativas. Além disso, em eventos menos frequentes (com TRs superiores a 10 anos) a tendência é de que o volume de água seja bem superior a estas estimativas.

Figura 6 - Mapa de áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, RS.

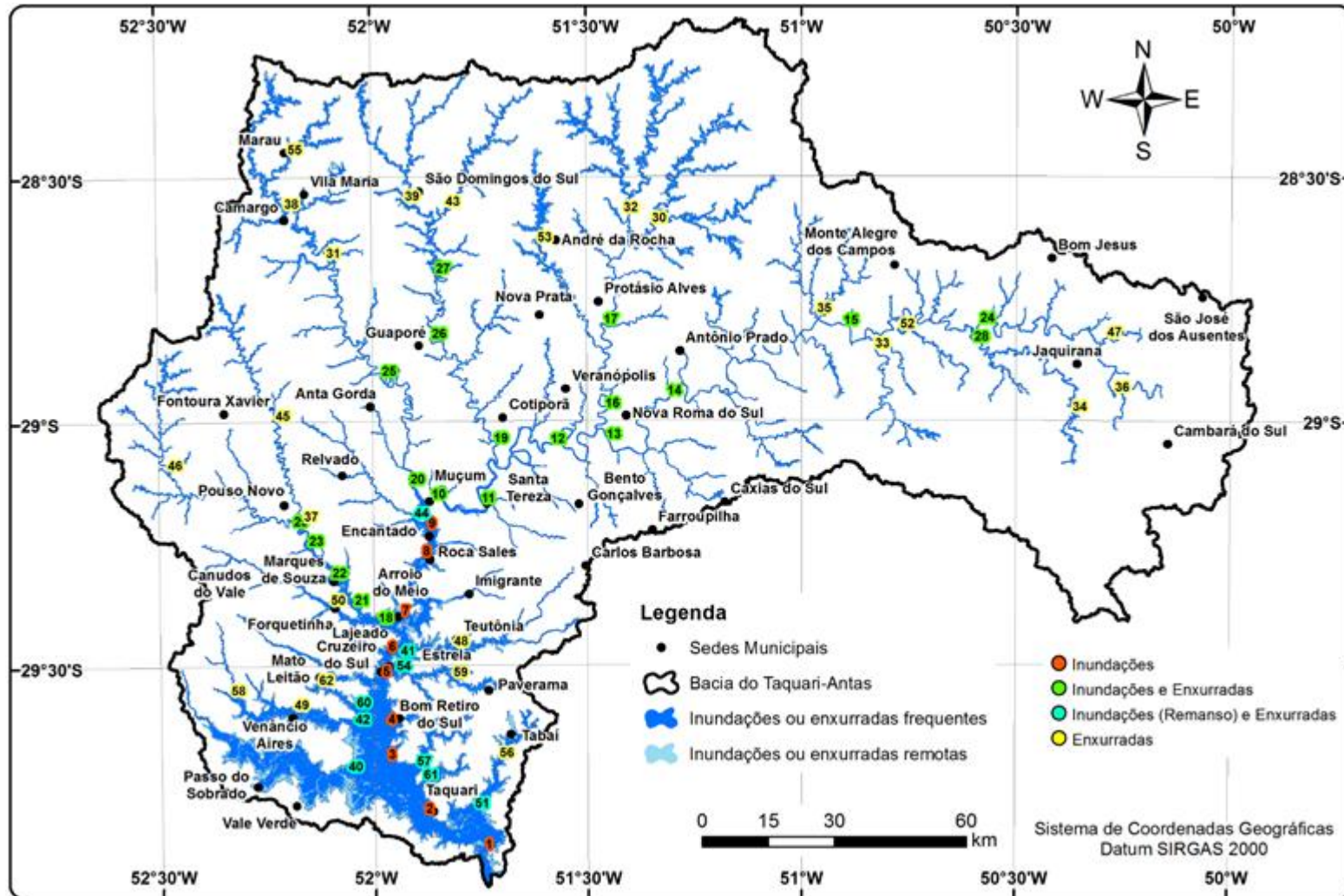


Tabela 7 - Índices morfométricos e hidrológicos de pontos de interesse em áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na bacia do rio Taquari-Antas.

Pontos	Rios	Municípios	A (km ²)	L (km)	S (%)	tc (h)	Qmax (m ³ /s)	QmaxTR (m ³ /s)				
								5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
1	Taquari	Triunfo/General Câmara	26360	558	0,18	97,7	7895	10778	13123	15372	18283	20465
2	Taquari	Taquari	25700	538	0,19	93,5	7720	10539	12832	15031	17878	20011
3	Taquari	Vila Mariante (Venâncio Aires)	24015	521	0,19	90,3	7286	9947	12111	14186	16873	18886
4	Taquari	Bom Retiro do Sul	23895	511	0,20	88,3	7255	9904	12059	14126	16801	18806
5	Taquari	Cruzeiro do Sul	23465	490	0,20	84,4	7143	9751	11873	13908	16542	18515
6	Taquari	Lajeado/Estrela	23165	486	0,20	83,6	7064	9644	11742	13754	16359	18311
7	Taquari	Arroio do Meio	19620	470	0,21	80,8	6130	8369	10189	11935	14196	15890
8	Taquari	Roca Sales	19260	446	0,22	76,3	6028	8229	10020	11737	13960	15625
9	Taquari	Encantado	19100	439	0,22	74,9	5984	8169	9946	11651	13858	15511
10	Taquari	Muçum	16010	425	0,23	72,5	5144	7022	8550	10016	11912	13334
11	Taquari	Santa Tereza	15820	402	0,24	68,3	5091	6950	8462	9912	11790	13196
12	Antas	Veranópolis/Bento Gonçalves	12475	346	0,27	58,5	4150	5665	6898	8080	9611	10757
13	Antas	Pinto Bandeira/Nova Roma do Sul	8285	308	0,28	52,4	2920	3986	4854	5685	6762	7569
14	Antas	Antônio Prado/Nova Pádua	7630	276	0,29	47,6	2721	3715	4523	5298	6301	7053
15	Antas	Caxias do Sul/Mte Alegre dos Campos	5266	200	0,32	35,5	1979	2702	3289	3853	4583	5130
16	Prata	Veranópolis/Nova Roma do Sul	3773	192	0,40	31,7	1486	2029	2470	2893	3441	3852
17	Prata	Antônio Prado/Protásio Alves	2993	148	0,40	25,8	1218	1663	2025	2371	2821	3157
18	Forqueta	Lajeado/Arroio do Meio	2840	148	0,45	24,9	1165	1590	1936	2268	2698	3020
19	Carreiro	São Valentin do Sul/Cotiporã	2560	190	0,41	31,1	1065	1454	1770	2074	2466	2761
20	Guaporé	Encantado/Muçum	2487	204	0,34	35,5	1039	1418	1727	2023	2406	2693
21	Forqueta	Forqueta (Arroio do Meio)	2340	138	0,48	22,9	986	1346	1639	1920	2283	2556
22	Forqueta	Marques de Souza/Travesseiro	2225	127	0,51	20,7	944	1289	1569	1838	2186	2447
23	Forqueta	Tamanduá (Marques de Souza)	2095	115	0,55	19	897	1225	1491	1746	2077	2325
24	Antas	Bom Jesus/Jaquirana	2066	145	0,35	27,1	886	1210	1473	1725	2052	2297
25	Guaporé	Anta Gorda/Guaporé	2028	150	0,35	27,7	872	1190	1449	1698	2019	2260
26	Carreiro	Guaporé/Vista Alegre do Prata	1878	147	0,44	25	816	1114	1356	1589	1890	2115

Pontos	Rios	Municípios	A (km ²)	L (km)	S (%)	tc (h)	Qmax (m ³ /s)	QmaxTR (m ³ /s)				
								5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
27	Carreiro	Serafina Corrêa/Nova Bassano	1533	96	0,46	17,7	686	937	1140	1336	1589	1778
28	Tainhas	São Francisco de Paula/Jaquirana	1450	120	0,30	24,9	654	893	1087	1273	1515	1695
29	Fão	Pouso Novo/Marques de Souza	1277	105	0,58	17,4	586	800	974	1141	1357	1519
30	Telha	Muitos Capões/Ipê	1188	100	0,39	19,5	551	752	916	1073	1276	1428
31	Guaporé	Montauri/Nova Alvorada	1155	92	0,41	17,8	538	734	894	1048	1246	1395
32	Turvo	Muitos Capões/André da Rocha	1067	101	0,39	19,5	502	685	834	977	1163	1301
33	Lajeado Grande	São Francisco de Paula/Caxias do Sul	943	97	0,59	16,2	452	617	751	880	1047	1172
34	Tainhas	Jaquirana	928	66	0,26	16,5	445	608	740	866	1031	1153
35	Refugiado	Vacaria	796	56	1,02	8,6	391	534	650	761	905	1014
36	Camisas	Cambará do Sul/Jaquirana	795	66	0,45	13,4	390	532	648	759	903	1011
37	Forqueta	Pouso Novo/Travesseiro	791	103	0,64	16,4	388	530	645	755	899	1006
38	Guaporé	Vila Maria/Camargo	777	64	0,52	12,3	383	523	637	746	887	993
39	São Domingos	Casca/São Domingos do Sul	638	54	0,62	10,2	323	441	537	629	748	837
40	Taquari-Mirim	Venâncio Aires/Vale Verde	626	74	0,71	12,2	318	434	529	619	736	824
41	Arroio Boa Vista	Foz (Estrela)	575	73	0,85	11,3	295	403	490	574	683	765
42	Arroio Castelhanos	Jusante (Venâncio Aires)	553	69	0,83	10,9	286	390	475	557	662	741
43	Carreiro	Pará/São Domingos do Sul	537	64	0,56	12	279	381	464	543	646	723
44	Arroio Jacaré	Encantado	532	57	1,10	8,4	276	377	459	537	639	715
45	Forqueta	Putinga/Fontoura Xavier	528	57	0,74	9,8	274	374	455	533	635	710
46	Fão	Barros Cassal/Fontoura Xavier	519	48	0,86	8,1	271	370	450	528	628	702
47	Antas	Bom Jesus/Jaquirana (Montante)	500	68	0,75	11,2	262	358	435	510	607	679
48	Arroio Boa Vista	Teutônia	479	53	1,11	8	252	344	419	491	584	653
49	Arroio Castelhanos	Área Urbana (Venâncio Aires)	411	51	1,11	7,7	221	302	367	430	512	573
50	Arroio Forquetinha	Forquetinha	393	49	1,10	7,5	213	291	354	415	493	552
51	Arroio Santa Cruz	Taquari/Triunfo	353	39	0,57	8,1	194	265	322	378	449	503
52	Arroio São Tomé	São Francisco de Paula	285	70	0,75	11,5	162	221	269	315	375	420
53	Prata	André da Rocha/Guabiju	248	35	0,38	8,8	143	195	238	278	331	371
54	Arroio Estrela	Foz (Estrela)	238	41	0,58	8,4	138	188	229	269	320	358

Pontos	Rios	Municípios	A (km ²)	L (km)	S (%)	tc (h)	Qmax (m ³ /s)	QmaxTR (m ³ /s)				
								5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
55	Arroio Marau	Marau	204	35	0,70	6,8	122	167	203	238	283	316
56	Arroio Santa Cruz	Tabaí	184	24	0,86	4,7	111	152	185	216	257	288
57	Arroio Capivara	Taquari	165	31	0,40	7,7	101	138	168	197	234	262
58	Arroio Castelhana	Monte Alverne (Santa Cruz do Sul)	152	30	1,77	4,3	94	128	156	183	218	244
59	Arroio Estrela	Teutônia	110	21	0,94	4,2	71	97	118	138	164	184
60	Arroio Bonito	Venâncio Aires/Cruzeiro do Sul	90	27	0,62	5,9	60	82	100	117	139	156
61	Arroio do Potreiro	Taquari	89	25	0,33	7,2	59	81	98	115	137	153
62	Arroio Bonito	Mato Leitão	45	15	0,94	3,2	33	45	55	64	76	86

No rio Taquari-Antas, no trecho a montante de Muçum (entre os pontos 10 e 24 – Figura 6), não é possível identificar apenas um tipo de fenômeno, podendo ocorrer tanto inundações quanto enxurradas. Trata-se de um longo trecho de rio em um vale mais encaixado, sem a presença de grandes áreas planas e com poucos depósitos sedimentares, predominantemente alúvios e colúvios com sedimentos mais grosseiros, que indicam uma elevada competência deste rio e processos de movimentos de massa. Na porção mais a montante (Pontos 12, 13, 14, 15 e 24) evidencia-se um forte controle estrutural ao longo de lineamentos geológicos, com presença de alguns segmentos retilíneos, de muitos cotovelos e algumas curvas em ângulos retos.

Os poucos depósitos existentes no trecho e o aumento da declividade no trecho favorecem a ocorrência de enxurradas neste trecho de rio, embora não seja possível descartar eventos mais graduais (como inundações). Isso porque a área de drenagem neste trecho está no intervalo entre 2.000 (Ponto 24) e 16.000 km² (Ponto 10), o comprimento do rio a montante varia entre 145 km e 425 km, o que indica um tempo de concentração entre 27 horas (Ponto 24) e 72 horas (Ponto 10). Estes índices corroboram com a possibilidade de eventos mais lentos e graduais, embora as evidências geomorfológicas indiquem a ocorrência de respostas rápidas e variações bruscas no nível do rio.

Outros rios apresentam características gerais semelhantes ao trecho analisado no parágrafo anterior, com vales mais estreitos e poucos depósitos fluviais, além da presença de sedimentos grosseiros (cascalhos ou maiores) nas margens. É o caso dos rios da Prata (Pontos 16 e 17), Forqueta (Pontos 18, 21, 22 e 23), Carreiro (Pontos 19, 26 e 27), Guaporé (Pontos 20 e 25), Tainhas (Ponto 28) e Fão (Ponto 29). Trata-se de rios com área de drenagem aproximada entre 1.300 km² (Ponto 29 – rio Fão) e 3.800 km² (Ponto 16 – rio da Prata), com tempo de concentração entre 17 horas e 36 horas, aproximadamente. Estes valores indicam que a resposta pode ser gradual, possibilitando a ocorrência de inundações, embora as evidências geomorfológicas indiquem a ocorrência de respostas rápidas e variações bruscas no nível do rio, típico das enxurradas.

Como exemplo, pode-se mencionar a forte enxurrada ocorrida em janeiro de 2010. Na cidade de Marques de Souza, neste evento extremo, as águas do rio Forqueta subiram rapidamente não dando tempo para as pessoas retirarem seus pertences, nem animais. As propriedades situadas próximas às áreas ribeirinhas, baseadas em agricultura e pecuária, bases da economia em Marques de Souza, foram destruídas por completo. Além disso, muitos campings tiveram suas estruturas arrastadas pelas águas. Ao todo, em torno de 100 famílias ficaram desalojadas, muitas delas sendo retiradas dos telhados de suas residências pelo Corpo de Bombeiros. A enxurrada causou grandes prejuízos materiais em boa parte da cidade

ocasionando a falta de água e de energia elétrica para a população. A BR-386, que corta o município de Marques de Souza, ficou submersa por até um metro de água em vários pontos da rodovia (SANTOS, 2010). Duas pontes, de dezenas de metros de comprimento, que ligam os municípios de Barros Cassal e Fontoura Xavier, foram totalmente destruídas pela enxurrada do rio Fão (principal afluente do rio Forqueta).

A enxurrada que ocorreu em 4 de janeiro de 2010 é considerada a pior da história da cidade, pois causou a inundação de 60% do perímetro urbano, ultrapassando em estragos e nível de água a cheia de 1941. Em decorrência disso, os campings terminaram aniquilados, 28 residências desapareceram, metade dos animais resistiu em cima dos telhados. Os cemitérios no bairro Tamanduá foram destruídos pela enxurrada, lápides apareceram quebradas, mausoléus navegaram para a estrada, e ossadas ressurgiram no meio da plantação de trigo. Dezenas de corpos de animais foram encontrados a centenas de km de distância, no rio Jacuí e no Guaíba (DA CAS, 2015).

Nas áreas adjacentes aos exutórios de alguns afluentes do rio Taquari, tais como o rio Taquari-Mirim (Ponto 40), o arroio Boa Vista (Ponto 41), o arroio Castelhana (Ponto 42), o arroio Jacaré (Ponto 44), o arroio Santa Cruz (Ponto 51), o arroio Estrela (Ponto 54), o arroio Capivara (Ponto 57), o arroio Bonito (Ponto 60) e o arroio do Potreiro (Ponto 61) podem ocorrer os dois processos (inundações graduais e enxurradas). As inundações, neste caso, são provocadas pelo avanço das águas do rio Taquari em direção a suas planícies, bem como pelo represamento das águas destes arroios menores, impedindo a saída da água do sistema. Tratam-se de bacias de menor porte, entre 90 e 630 km², mas que deságuam diretamente no rio principal, sendo influenciadas pelo remanso provocado pelo rio principal (Figura 6 e Tabela 7). Eventualmente, nos pequenos cursos d'água mencionados no parágrafo anterior podem ocorrer também enxurradas, normalmente em situações de chuvas mais localizadas nas suas respectivas áreas de drenagem. Quando isto ocorre, a resposta é mais rápida e os volumes envolvidos são bem inferiores aos casos de inundações graduais.

Quanto aos pontos referentes apenas ao processo de enxurradas, os mesmos estão bem distribuídos pela bacia hidrográfica, embora predominem em bacias da porção centro-jusante, tendo em vista as características geomorfológicas favoráveis para a concentração das águas e os desníveis topográficos mais acentuados (Figura 6).

Nesta categoria, pode-se destacar, dentre tantos arroios e rios, os seguintes: i) rio da Telha (no Ponto 30), com área de drenagem de 1.188 km² e tc de 19,5 horas; ii) rio Guaporé (no Ponto 31), com área de drenagem de 1.155 km² e tc de 17,8 horas; iii) rio Turvo (no Ponto 32), com área de drenagem de 1.067

km² e tc de 19,5 horas; iv) rio Lajeado Grande (no Ponto 33), com área de drenagem de 943 km² e tc de 16,2 horas; v) rio Tainhas (no Ponto 34), com área de drenagem de 928 km² e tc de 16,5 horas (Tabela 7).

Outros arroios apresentam uma resposta mais rápida, com tc inferior a 10 horas, dentre os quais pode-se mencionar o rio Refugiado (Ponto 35), o arroio Boa Vista (Ponto 48), o arroio Castelhana (Pontos 49 e 58), o arroio Forquetinha (Ponto 50), o arroio São Tomé (Ponto 52), o arroio Santa Cruz (Ponto 56) e o arroio Estrela (Ponto 59). Nestes pontos, embora o evento seja extremamente brusco, os volumes envolvidos também são menores, dificilmente ultrapassando os 500 m³/s, por se tratarem de bacias com menos de 800 km² de área de drenagem (Tabela 7).

Ao todo, a bacia hidrográfica do Taquari-Antas apresenta aproximadamente 2.100 km² de áreas suscetíveis a inundações e enxurradas, equivalente a 8% da área total da bacia. Quanto à relação entre as áreas suscetíveis e os limites municipais, se destacam os seguintes municípios: Venâncio Aires (228 km²), Taquari (152 km²), General Câmara (127 km²), Passo do Sobrado (95 km²), Estrela (73 km²) e Cruzeiro do Sul (71 km²). Porém, a maior parte destas áreas (cerca de 2.000 km², mais de 95%) se referem a usos agropecuários diversos (pastagens, lavouras temporárias, lavouras permanentes), banhados, áreas de mata ciliar e florestas industriais exóticas (Eucaliptos, Acácias e Pinus).

Já, se considerarmos apenas as áreas urbanizadas (69 km² de áreas suscetíveis), os municípios que apresentam maior área suscetível são Estrela (7,8 km²), Lajeado (6,8 km²), Venâncio Aires (6,2 km²) e Arroio do Meio (4,6 km²). Além destes, outros municípios com problemas recorrentes relacionados às inundações e enxurradas são Encantado, Roca Sales, Cruzeiro do Sul, Triunfo, Marques de Souza, Teutônia, Muçum, Taquari e Santa Tereza.

De fato, os municípios de Estrela e Lajeado são os dois municípios que mais decretaram Situação de Emergência no Estado do Rio Grande do Sul, no período entre os anos de 1980 e 2012, com 17 e 13 decretos, respectivamente, conforme levantamento apresentado por Sausen e Reis (2013). O resultado do cruzamento entre as áreas suscetíveis e as áreas urbanizadas indica realmente que estes dois municípios apresentam, possivelmente, os maiores prejuízos econômicos e sociais em relação ao problema das inundações na bacia.

Por fim, levando-se em consideração os resultados apresentados, deve-se destacar a importância de aprofundar e qualificar os índices obtidos, bem como os critérios e metodologia de mapeamento, baseando-se em um maior conjunto de relatos e registros de campo para validação e também em novos dados obtidos por sensoriamento remoto para refinar os contornos das áreas de inundação.

Estudos em escala mais regional, como o apresentado neste trabalho, também são importantes para um planejamento mais eficiente dos municípios inseridos na bacia, buscando reduzir os custos inerentes aos processos hidrológicos extremos. O mapeamento regional pode servir de base para uma reorganização do espaço, redirecionando o crescimento das cidades e das atividades agropecuárias, em função dos desastres naturais que ocorrem frequentemente na bacia hidrográfica do Taquari-Antas.

4. CONCLUSÕES

O objetivo do presente estudo foi mapear e caracterizar as áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas. Para tanto, foram utilizados dados SRTM para a modelagem digital da elevação (MDE) visando a delimitação da bacia hidrográfica e da hidrografia e a estimativa de índices morfométricos e hidrológicos. O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas foi realizado através da simulação do aumento do nível da água em cada segmento de rio, em função do MDE. A metodologia adotada permitiu atingir os resultados necessários para atender ao objetivo geral. Quanto à definição do tempo de concentração, parâmetro importante para diferenciar as inundações das enxurradas, a equação que apresentou maior eficiência foi a de Kirpich, embora este tenha apresentado uma tendência de superestimar o tempo de concentração em bacias maiores (rio Taquari) e de subestimar os valores em bacias um pouco menores (os afluentes que apresentam represamento das águas em virtude das cheias no rio principal – efeito remanso), como no caso do rio Forqueta. Deve-se ressaltar que a análise do tempo de concentração reforçou a necessidade de aprofundar os estudos sobre a resposta hidrológica de um rio em relação às chuvas, tendo em vista que as equações utilizadas apresentam erros consideráveis. Para tanto, seria necessário ampliar o monitoramento dos rios em escala horária.

Além disso, deve-se destacar a síntese realizada em relação às vazões máximas em diferentes locais com ocorrência de inundações e enxurradas. Esses valores foram obtidos por meio de um processo de regionalização de vazões. A curva regional obtida obteve um ajuste satisfatório, com um coeficiente de determinação de 0,935. Com base nesta curva regional, conclui-se que a vazão máxima anual do rio Taquari se aproxima de 7.900 m³/s no seu trecho final, junto à foz no rio Jacuí. Em TRs maiores, referentes às inundações menos frequentes e de maior magnitude, a vazão média diária pode ultrapassar 20.000 m³/s no trecho baixo do rio Taquari.

Com base nos resultados obtidos em relação ao mapeamento, conclui-se que bacia apresenta processos distintos. No rio Taquari, no trecho a jusante de Encantado, o fenômeno predominante são as inundações. No rio Taquari-Antas, no trecho entre os rios Guaporé e Tainhas, foi possível identificar tanto inundações

quanto enxurradas. Os rios da Prata, Forqueta, Carreiro, Guaporé, Tainhas e Fão também apresentam características que indicam a ocorrência dos dois fenômenos. Por sua vez, nas áreas adjacentes aos exutórios de alguns afluentes do rio Taquari, tais como o rio Taquari-Mirim, o arroio Boa Vista, o arroio Castelhana, o arroio Jacaré, o arroio Santa Cruz e o arroio Estrela podem ocorrer inundações provocadas pelo avanço das águas do rio Taquari em direção a suas planícies, assim como pelo represamento das águas destes arroios.

Quanto aos pontos referentes apenas ao processo de enxurradas, os mesmos estão bem distribuídos pela bacia hidrográfica, embora predominem em bacias da porção centro-jusante, tendo em vista as características geomorfológicas favoráveis para a concentração das águas e os desníveis topográficos mais acentuados.

Ainda sobre o mapa de suscetibilidade às inundações e enxurradas, conclui-se que aproximadamente 8% da área total da bacia pode ser atingida por tais eventos extremos. Porém, a maior parte destas áreas (mais de 95%) se referem a usos agropecuários diversos (pastagens, lavouras temporárias, lavouras permanentes), banhados, áreas de mata ciliar e florestas industriais exóticas (Eucaliptos, Acácias e Pinus). Se considerarmos apenas as áreas urbanizadas suscetíveis (69 km²), os municípios que apresentam maior área suscetível são Estrela, Lajeado, Venâncio Aires e Arroio do Meio. Além destes, outros municípios com problemas recorrentes relacionados às inundações e enxurradas são Encantado, Roca Sales, Cruzeiro do Sul, Triunfo, Marques de Souza, Teutônia, Muçum, Taquari e Santa Tereza.

Por fim, levando-se em consideração os resultados apresentados, deve-se destacar a importância de aprofundar e qualificar os índices obtidos, bem como os critérios e metodologia de mapeamento, baseando-se em um maior conjunto de relatos e registros de campo para validação e também em novos dados obtidos por sensoriamento remoto para refinar os contornos das áreas de inundação. Estudos em escala regional são importantes para um planejamento mais eficaz dos municípios, buscando estratégias para reduzir os custos inerentes aos processos hidrológicos extremos. O mapeamento regional pode servir de base para uma reorganização do espaço, redirecionando o crescimento das cidades e das atividades agropecuárias.

REFERÊNCIAS

- ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107-124, 2002.
- ALSDORF, D. E.; MELACK, J. M.; DUNNE, T.; MERTES, L. A. K.; HESS, L. L.; SMITH, L. C. **Interferometric radar measurements of water level changes on the Amazon flood plain.** Nature, n. 404, p.174-177, 2000.
- ANISOARA, I.; VASILE, C. GHEORGHE, S. **Remote Sensing and GIS Techniques for Flood Monitoring and Damage Assessment: Study Case in Romania.** BALWOIS 2010 – Ohrid, Republic of Macedonia, 2010.
- BATES, P. D.; DE ROO, A. P. J. **A simple raster-based model for flood inundation simulation.** Journal of Hydrology, 236, p.54–77. 2000.
- BATES, P. D.; HORRITT, M. S.; SMITH, C. N.; MASON, D. **Integrating Remote Sensing Observations of Flood Hydrology and Hydraulic Modelling.** Hydrological Processes, Vol. 11, p.1777-1795. 1997.
- BATES, P. D.; MARKS, K. J.; HORRITT, M. S. **Optimal use of high-resolution topographic data in flood inundation models.** Hydrological Processes, 17, p.537–557. 2003.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. 2007. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. (Org.). 2007. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4 ed., Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, p.177-241.
- BOTH, G. C.; HAETINGUER, C.; FERREIRA, E. R.; DIEDRICH, V. L.; AZAMBUJA, J.L. Uso da modelagem matemática para a previsão de enchentes no Vale do Taquari – RS. In: VI Simpósio de Engenharia Ambiental, 2008, Serra Negra. **Artigo...** Serra Negra, 2008. Disponível em: <<http://ensino.univates.br/~chaet/Materiais/Modelagem/trab01000140.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2014.
- BRASIL. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília. 2010. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0213/213909.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2013.

- BRIVIO, P. A.; COLOMBO, R.; MAGGI, M.; TOMASONI, R. **Integration of Remote Sensing Data and GIS for Accurate Mapping of Floods Areas.** International Journal of Remote Sensing, London, UK: Taylor & Francis, v. 23, n. 03, p. 429-441, 2002.
- BRUBACHER, J. P., OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. **Identificação e análise de eventos extremos de precipitação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS.** In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS, 1., 2012, Rio Claro. **Anais...** 2012. p. 1-10, CD-ROM.
- CASTRO, A.L.C. **Glossário de defesa civil, estudos de riscos e medicina de desastres.** 2 ed. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1998. 283 p.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Hidrología Aplicada.** Tradução Juan G. Saldarriaga. Santafé de Bogotá, Colômbia: McGRAW-HILL Interamericana S.A., 1994. 584p.
- CIRILO, J.A.; COSTA, W.D. PONTES, M.; MAIA, A.Z. **Barragem subterrânea: Um programa pioneiro em Pernambuco.** In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 4., Campina Grande, 1998. Campina Grande: ABRH, 1998. CD-ROM.
- COSTELLOE, J. F.; GRAYSON, R. B.; ARGENT, R. M.; MCMAHON, T. A. **Modelling the flow regime of an arid zone floodplain river, Diamantina River, Australia.** Environmental Modelling & Software, n.18, p.693-703, 2003.
- CRED - CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. **The international disaster database (EM-DAT).** 2012. Disponível em: <<http://www.emdat.br/database>>. Acesso em: 24 fevereiro 2012.
- CUNGE, J. A. 1969. On the subject of Flood Propagation Computation Method (Muskingun Method). **Journal of Hydraulic Research**, Delft V7 n.2, p.205-230.
- DA CAS, R. 2015. **Estudo da influência da PCH Salto Forqueta na enchente de 4 de janeiro de 2010.** Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Lajeado: Centro Universitário Univates.
- DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S.; ROSSKOFF, J. L. C. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.1, p.46–54. 2010.
- DUTTA, D.; HERATH, S.; MUSIAKE, K. **A mathematical model for flood loss estimation.** Journal of Hydrology, n.277, p.24-49, 2003.

- ECKHARDT, R. R. **Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujeitas às Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado / RS.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2008.
- FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológico-Geomorfológica.** In: Antônio J. T. Guerra; Sandra Baptista. (Org.). Geomorfologia e Meio Ambiente. 1 ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 1996, v. , p. 123-194.
- MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto.** São José dos Campos/SP: 2004. 228p. – (INPE-12146-TDI/970).
- FERREIRA, E. R.; BOTH, G. C. Estudo das enchentes no Vale do Taquari: causas e propostas de controle. In: MEEP, 4. Lajeado. **Anais...** Lajeado: UNIVATES, 2001.
- FERRI, G. A.; TOGNI, A. C. **A história da bacia hidrográfica Taquari-Antas.** Lajeado: Ed. da Univates, 2012.
- FERRI, G. **História do Rio Taquari-Antas.** 1ª ed. Encantado: Grafen, 1991.
- FRANK, B. SEVEGNANI, L. (org.) **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí.** Água, gente e política. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009.
- GARROTE, L.; BRAS, R. L. **A distributed model for real-time flood forecasting using digital elevation models.** Journal of Hydrology, n.167, p. 279-306. 1995.
- GOERL, R. F. KOBİYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. Porto Alegre : ABRH, 2005.
- GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G.; BRUBACHER, J. P.; QUEVEDO, R. P. 2015. **Modelagem hidrológica e espacialização de áreas suscetíveis às inundações no município de Igrejinha, RS.** Artigo aceito para publicação na Revista GeoUERJ, n. 2, 2015.
- HAILE, A. T.; RIENTIES, T. H. M. **Effects of LIDAR DEM resolution in flood modeling:** a model sensitivity study for the city of Tegucigalpa, Honduras. ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop “Laser Scanning 2005”, Enschede, Netherlands, September 12-14, 2005. p.168-173, 2005.

- HASENACK, H.; WEBER, E. (Org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS-IB-Centro de Ecologia, 2010. DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).
- HORRITT, M. S.; BATES, P. D. **Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation**. Journal of Hydrology, n.268, p.87-99, 2002.
- IMHOFF, M. L.; VERMILLION, C.; STORY, M. H.; CHOUDHURY, A. M.; GAFOOR, A. **Monsoon Flood boundary delineation and damage assessment using spaceborne imaging radar and Landsat data**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53, p.405-413. 1987.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012 pp. 1-19.
- JENSEN, J. **Remote sensing of environment: an Earth resource perspective**. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2000. 544p.
- JENSON, S.K. & DOMINGUE, J.O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.
- KAFLE, T. P.; HAZARIKA, M. K.; SHRESTHA, K. G.; PRATHUMCHAI, K.; SAMARAKOON, L. **Integration of remote sensing and GIS with flood simulation model for flood hazard mapping in the Bagmati River, Nepal**. New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, Thailand, p.257-268, 2006.
- KEIFER, C. J.; CHU, H. H. 1957. Synthetic storm pattern for drainage design. **Journal of the Hydraulics Division**. American Society of Civil Engineers. New York, v. 83, n.4, Aug.
- KIRPICH, Z.P. 1940. **Time of concentration in small agricultural watersheds**. Civil Engineering, v. 10, n. 6, p.362-, 1940.
- KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. 124p. Disponível em: <<http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/Livro%20>> Acesso em: 30 maio 2013.

- KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R.V.; SCHRÖDER, P.H.; GRANDO, A.; REGINATTO, G.M.P. 2004. **Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1. Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 834-846, CD-ROM.
- KUREK, R. K. M. **Análise das inundações no Vale do Taquari/RS como subsídio à elaboração de um modelo de previsão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- LOUGEAY, R.; BAUMANN, P.; NELLIS, M. D. **Two digital approaches for calculating the area of regions affected by the great American Flood of 1993**. Geocarto International, n.9, p.53–59, 1994.
- MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos**. Santa Maria: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/CRS, 2008.
- MARENGO, J.A. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. 2010. Disponível em: <<http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>>. Acesso em: 23 fevereiro 2012.
- MARKS, K.; BATES, P. D. **Integration of high-resolution topographic data with floodplain flow models**. Hydrological Processes, 14, p.2109-2122, 2000.
- MCCARTHY, G. T. 1939. **The Unit Hydrograph and Flood Routing**. Providence: U.S. Corps of Engineers.
- MORAES, I. C.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L.; MORUZZI, R. B. **Interferência do uso da terra nas inundações da área urbana do Córrego da Servidão, Rio Claro (SP)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.13, n.2, (Abr-Jun) p.187-200.2012.
- MORUZZI, R. B.; CUNHA, C. M. L. da; BRAGA, R. **A questão do escoamento superficial em áreas degradadas por processos erosivos lineares: a importância de uma estratégia de análise**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 073-088. 2009.
- OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A.; BRUBACHER, J. P.; SIRANGELO, F. R. 2015. **Interpretação e mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, com suporte de técnicas de geoprocessamento e utilização de dados orbitais e cartográficos**. In: SIMPÓSIO

- BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. João Pessoa-PB. Anais... INPE, 2015. p. 6467-6474.
- OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L.A.; SALDANHA, D. L. 2012. Modelos de previsão e espacialização das áreas Inundáveis em Montenegro, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 13 (4), 355-378.
- OLIVEIRA, G. G. **Modelos para Previsão, Espacialização e Análise das Áreas Inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2010.
- OVERTON, I. C. **Modelling Floodplain Inundation on a Regulated River: Integrating GIS, Remote Sensing and Hydrological Models**. River Research and Applications, n.21, p.991-1001. 2005.
- PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W. Derivação de rede de drenagem a partir de dados SRTM. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.2, n.2, 2008. p. 84-95.
- PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. 1.ed. São Carlos: EESC/USP, 1998. 540 p.
- QI, S.; BROWN, D. G.; TIAN, Q.; JIANG, L.; ZHAO, T.; BERGEN, K. M. **Inundation Extent and Flood Frequency Mapping Using LANDSAT Imagery and Digital Elevation Models**. GIScience & Remote Sensing, 46, n.1, p.101–127. 2009.
- ROSENQVIST, A.; BIRKETT, C. M. **Evaluation of JERS-1 SAR mosaics for Hydrological Applications in the Congo River Basin**. International Journal of Remote Sensing, London, UK: Taylor & Francis, v.23, n.07, p.1283-1302, 2002.
- SANTOS, E.; Enchente no Rio Taquari - Janeiro de 2010. **Apena-ONG**. < [Http://estrela-rs-aepan.blogspot.com.br/2010/01/enchente-no-rio-taquari-janeiro-de-2010.html](http://estrela-rs-aepan.blogspot.com.br/2010/01/enchente-no-rio-taquari-janeiro-de-2010.html). => Acesso em: 07 set. 2014.
- SANTOS, R. F. (org.) **Vulnerabilidade Ambiental**. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília, 2007.
- SAUSEN, T. M.; REIS, J. T. Levantamento e avaliação das inundações ocorridas no Rio Grande do Sul. In: GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G.; ALVES, R. C. M. (org.). **Eventos Extremos no Rio Grande do Sul: inundações e movimentos de massa**. Porto Alegre: Evangraf, 2013. p.208.

- SCHULT, S. I. M.; PINHEIRO, A. **Ocupação e Controle das Áreas Urbanas Inundáveis**. In: Enchentes na Bacia do Itajaí: 20 Anos de Experiências. 1 ed., Blumenau: FURB, v. 1, p.173-190, 2003.
- SCS, 1975. **Urban hydrology for small watersheds**. Washington. U.S. Dept. Agr. Technical Release n. 55.
- SILVEIRA, A. L. L. **Desempenho de formulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 1, p. 5-23, 2005.
- SIRANGELO, F. R. **Relação entre a ocorrência de inundações e enxurradas e os índices morfométricos das sub-bacias hidrográficas da Região Hidrográfica do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2014.
- SMITH, L. C. **Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: a review**. Hydrological Processes, v. 11, p.1427-1439, 1997.
- TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Episódios de chuvas intensas na região sul do Brasil. Parte I: ConFiguração sinópticas associadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13. Fortaleza. **Anais**. 2004. CD-ROM, On-line. (INPE-12104- PRE/7450). Disponível em: <<http://urlib.net/cptec.inpe.br/walmeida/2004/09.21.10.34>>. Acesso em: 02 nov. 2013.
- TOMINAGA, L. K. SANTORO, J. AMARAL, R. (orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.
- TOWNSEND, P. A.; WALSH, S. J. **Modeling floodplain inundation using an integrated GIS with radar and optical remote sensing**. Geomorphology, v. 21, p.295-312, 1998.
- TUCCI, C. E. M. 1998. **Modelos Hidrológicos**. 1 ed., Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 640p.
- TUCCI, C. E. M. 2014. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 943p.
- TUCCI, C. E. M. BERTONI, J. C. (org.) **Inundações Urbanas na América do Sul**. 1ª ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

- TUCCI, C. E. M. **Curso de Gestão das Inundações Urbanas**. Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://www.sedur.ba.gov.br/pemapes/pdf/material_tecnico/Manual_Gestao_Inundacoes_Urbanas_Tucci_2005.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2013.
- TUCCI, C.E.M; BRAGA, B.; SILVEIRA, A.,1989. **Avaliação do Impacto da urbanização nas cheias urbanas**. RBE Caderno de Recursos Hídricos V7 N.1.
- UNESCO. 2012. **WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT (WWDR4)**, 2012. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr4-2012/>>. Acesso em 03 Setembro 2013.
- VALERIANO, M.M. Modelo digital de variáveis morfológicas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2012, p. 3595-3602.
- VALERIANO, M.M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE-15318-RPQ/818. São José dos Campos: INPE, 2008. 73 p. Disponível em: <mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>. Acesso: 6.mai. 2011.
- VIEGAS FILHO, J.S., 2000. **O Paradigma da Modelagem Orientada a Objetos Aplicada a Sistemas de Apoio à Decisão em Sistemas de Recursos Hídricos**. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2 vol. 559 p.
- YANG, X.; RYSTEDT, B. **Predicting Flood Inundation and Risk Using GIS and Hydrodynamic Model: A Case Study at Eskilstuna, Sweden**. Indian Cartographer, p.183-191, 2002.