

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

PRODUTO 4.1.3. REDE TELEMÉTRICA DE DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS
DA BACIA DO RIO TAQUARI-ANTAS: DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE
AMPLIAÇÃO VISANDO A PREVISÃO DE CHEIAS

RF
RELATÓRIO FINAL

Porto Alegre
Fevereiro/2017

SUMÁRIO

PRODUTO 4.1.3. REDE TELEMÉTRICA DE DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS DA BACIA DO RIO TAQUARI-ANTAS: DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE AMPLIAÇÃO VISANDO A PREVISÃO DE CHEIAS	1
APRESENTAÇÃO	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. MÉTODOS DE MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO.....	3
2.1. Pluviômetros automáticos com telemetria	3
2.2. Radar	5
2.3. Satélite.....	6
2.4. Outras metodologias de monitoramento pluviométrico em tempo atual	6
2.5. Recomendações técnicas sobre densidade de postos pluviométricos	7
3. MÉTODOS DE MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO.....	9
3.1. Cota	10
3.2. Vazão	11
4. A BACIA DO RIO TAQUARI-ANTAS	12
5. DIAGNÓSTICO DA REDE DE MONITORAMENTO TELEMÉTRICO NA BACIA DO RIO TAQUARI-ANTAS	16
5.1. Rede de monitoramento pluviométrico.....	16
5.1.1. Pluviômetros telemétricos do INMET	16
5.1.2. Pluviômetros telemétricos da CPRM.....	17
5.1.3. Pluviômetros telemétricos da Univates.....	18
5.1.4. Pluviômetros telemétricos CEMADEN	19
5.1.5. Pluviômetros telemétricos SMAD-RS	22
5.1.6. Monitoramento de radar na bacia do rio Taquari-Antas	22
5.2. Rede de monitoramento fluviométrico	24
5.2.1. Rede fluviométrica da CPRM	24
5.2.2. Rede fluviométrica do CERAN	25
5.2.3. Rede fluviométrica da Univates	25
5.2.4. Rede fluviométrica do SMAD-RS	27

5.3. Diagnóstico da rede telemétrica de pluviometria sob o ponto de vista da previsão de cheias.....	28
5.4. Diagnóstico da rede telemétrica de fluviometria sob o ponto de vista da previsão de cheias	31
6. PROPOSTA DE COMPLEMENTAÇÃO DA REDE TELEMÉTRICA DA BACIA DO RIO TAQUARI-ANTAS	32
6.1. Proposição de novos postos telemétricos de precipitação	33
6.2. Proposição de postos telemétricos de precipitação nos demais aproveitamentos hidrelétricos.....	34
6.3. Proposição de postos telemétricos de precipitação em todas as sedes de municípios	35
6.4. Proposição de intensificação do monitoramento de vazão e nível.....	35
7. CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Um pluviômetro automático de cubas basculantes.	4
Figura 2 - Recomendações de instalação de um pluviômetro com relação à presença de obstáculos.....	5
Figura 3 - Mapa da rede de pluviômetros telemétricos do sistema de previsão e alerta de cheias do estado de Baden-Württemberg, na Alemanha, mostrando mais de 300 postos numa área de, aproximadamente, 36.000 km ²	9
Figura 4 - Relevo da bacia do rio Taquari-Antas (obtido do SRTM com resolução de 90 metros).	13
Figura 5 - Mapa da bacia do rio Taquari-Antas destacando os principais afluentes do rio principal.	14
Figura 6 - Mapa de vulnerabilidade de inundação na bacia do Taquari-Antas.....	15
Figura 7 - Série histórica de níveis de inundação registrados na cidade de Lajeado. Fonte: Eckhardt (2008).	16
Figura 8 - Mapa de localização das estações meteorológicas automáticas do INMET que se encontram na região da bacia do rio Taquari-Antas.	18
Figura 9 - Localização dos postos pluviométricos telemétricos do sistema SACE da CPRM na bacia do rio Taquari-Antas (não estão ilustrados os postos de Taquari e Mariante, que começaram a operar mais recentemente).	19
Figura 10 - Mapa de localização dos postos de monitoramento da UNIVATES.	20
Figura 11 - Localização dos postos pluviométricos telemétricos do CEMADEN instalados na região da bacia do Taquari-Antas no contexto do projeto “Pluviômetros Automáticos” e em operação em setembro de 2015.	21
Figura 12 - Mapa de localização de pluviômetros automáticos disponibilizados pelo SMAD-RS.	23
Figura 13 - Localização dos radares mais próximos da bacia do rio Taquari-Antas e a área de alcance qualitativo (250 km) e quantitativo (125 km).	24
Figura 14 - Mapa de localização das estações fluviométricas da CPRM com telemetria na bacia do rio Taquari-Antas (os postos de Taquari e Mariante não aparecem no mapa porque foram instalados mais recentemente).	26
Figura 15 - Mapa de localização das usinas do CERAN.	26
Figura 16 - Mapa de postos fluviométricos telemétricos da UNIVATES na bacia do rio Taquari-Antas.	27

Figura 17 - Mapa de localização dos pontos de monitoramento fluviométrico disponibilizados através do SMAD-RS.....	28
Figura 18 - Localização dos pluviômetros automáticos de três entidades (Univates, CPRM, INMET) na bacia do rio Taquari-Antas.....	29
Figura 19 - Rede pluviométrica com telemetria operando atualmente (2015) na bacia do rio Taquari-Antas, incluindo postos do INMET, CPRM, UNIVATES, SMAD-RS e CEMADEN.....	30
Figura 20 - Mapa de localização dos postos fluviométricos telemétricos atualmente instalados na bacia do rio Taquari-Antas.	31
Figura 21 - Mapa de postos pluviométricos telemétricos existentes na bacia e dos postos pluviométricos adicionais sugeridos (cruz vermelha) na bacia do rio Taquari-Antas.....	34
Figura 22 - Mapa de postos pluviométricos telemétricos existentes na bacia, dos postos pluviométricos adicionais sugeridos (cruz vermelha), e de postos adicionais em aproveitamentos hidrelétricos na bacia do rio Taquari-Antas.	35
Figura 23 - Mapa de monitoramento pluviométrico hipotético na bacia do rio Taquari-Antas considerando os postos existentes atualmente (CEMADEN, UNIVATES, CPRM, INMET, SMAD-RS), postos pluviométricos adicionais sugeridos (cruz vermelha), postos adicionais em aproveitamentos hidrelétricos e postos adicionais em cada sede de município da bacia.	36
Figura 24 - Postos do monitoramento fluviométrico com telemetria considerando o monitoramento atual e a proposta de instalação e operação de monitoramento em todos os aproveitamentos hidrelétricos atualmente existentes na bacia.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área de drenagem dos principais afluentes do rio Taquari-Antas.....	14
Tabela 2 - Pluviômetros do CEMADEN na região da bacia do rio Taquari-Antas.....	20
Tabela 3 - Pluviômetros do SMAD na região da bacia do rio Taquari-Antas.....	22
Tabela 4 - Postos fluviométricos telemétricos da CPRM na bacia do rio Taquari-Antas.....	25
Tabela 5 - Postos fluviométricos telemétricos da UNIVATES.	27
Tabela 6 - Postos de monitoramento fluviométrico com dados disponibilizados pelo SMAD-RS.....	27
Tabela 7 - Lista de sugestão de localização de novos postos pluviométricos telemétricos a serem instalados na bacia do rio Taquari-Antas.....	33

PRODUTO 4.1.3. REDE TELEMÉTRICA DE DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS DA BACIA DO RIO TAQUARI-ANTAS: DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE AMPLIAÇÃO VISANDO A PREVISÃO DE CHEIAS

APRESENTAÇÃO

Este relatório apresenta uma avaliação da rede de monitoramento hidrometeorológico telemétrico existente na bacia do rio Taquari-Antas, do ponto de vista do desenvolvimento e operacionalização de um sistema de previsão de cheias.

Apresenta-se um diagnóstico da rede telemétrica existente e uma avaliação das regiões de monitoramento mais deficiente. Ao final é apresentada uma proposta de complementação da rede de monitoramento pluviométrico telemétrico em 3 fases, com níveis diferentes de prioridade, e do monitoramento fluviométrico em uma única etapa.

1. INTRODUÇÃO

Um sistema de previsão e alerta de cheias é uma das formas de minimizar os impactos destes eventos hidrológicos sobre a população, constituindo um importante instrumento para suporte às ações realizadas pela Defesa Civil. Conforme descrito por WMO (2011), estes sistemas em geral permitem que procedimentos emergenciais possam ser iniciados em tempo hábil, a exemplo de mobilização de equipes de atuação, alerta sobre local e momento de ocorrência do evento, antecipação de medidas preparatórias, bem como evacuação e realocação de moradores situados em áreas sujeitas à inundações. Por serem cada vez mais reconhecidos como ferramentas indispensáveis na proteção de vidas humanas, os Sistemas de Alerta têm recebido grandes investimentos no contexto internacional e conseqüentemente contribuído para a construção de cidades resilientes, isto é, com capacidade de suportar impactos causados por desastres naturais.

A operação de um sistema de alerta tem como princípio fundamental a previsão hidrológica em tempo real, necessária para a estimativa futura de variáveis importantes como nível e/ou vazão no rio de interesse. Esse sistema normalmente é composto dos seguintes sub-sistemas: 1) rede de monitoramento de variáveis hidrometeorológicas; 2) sistema de transmissão, recepção e manejo de dados hidrometeorológicos; 3) sistema de previsão de cheias, capaz de processar estas informações e; 4) sistema de alerta e divulgação de informação. A partir do estabelecimento destes sub-sistemas, o monitoramento

pode ser então efetuado a partir de limiares que constituem uma referência para ações específicas (Tucci, 2005):

- 1) **Nível de acompanhamento/atenção:** nível a partir do qual é iniciado um acompanhamento da elevação do rio com certa periodicidade. Nesse momento, é alertada a Defesa Civil sobre a iminência de uma enchente, dando-se início à previsão de níveis em tempo real;
- 2) **Nível de alerta:** cota a partir da qual é previsto um nível crítico a ser atingido, dentro de um horizonte de tempo da previsão. A população recebe o alerta e as orientações provenientes da Defesa Civil, a qual passa a receber previsões com certa frequência juntamente com os órgãos municipais;
- 3) **Nível de emergência/inundação:** nível no qual ocorrem prejuízos materiais e humanos. Informações como o nível atual e previsto são repassadas para a população, bem como o intervalo provável dos erros, obtidos dos modelos.

O sub-sistema de monitoramento das variáveis hidrometeorológicas é fundamental para a acurácia do sistema de previsão e alerta. Para que as informações observadas possam alimentar um sistema operacional de previsão e alerta, é necessário que a transmissão da informação ocorra de forma automática, à distância, e em tempo atual para um centro de recepção e banco de dados hidrometeorológicos. Esta transmissão à distância é, normalmente, denominada telemetria.

A rede telemétrica é importante para inserção de dados de chuva e vazão/nível no modelo de previsão na medida em que novas informações vão sendo disponibilizadas, o que permite a sua atualização para os estados hidrológicos mais recentes. A distribuição espacial dos postos da rede telemétrica na bacia, bem como sua densidade, influência no desempenho da previsão em tempo real, porque a representatividade temporal e espacial da chuva e da própria vazão depende dos pontos de observação da chuva e vazão. Considerando que eventos meteorológicos podem variar muito em distâncias relativamente pequenas, especialmente em situações com precipitação de natureza convectiva e localizada, uma rede telemétrica densa e bem distribuída auxilia na diminuição de incertezas nos dados de chuva e vazão observados e pode trazer benefícios na previsão em tempo real.

A densidade de estações meteorológicas normalmente existentes não satisfaz adequadamente as demandas de dados necessários para a previsão de cheias em tempo real. Isto ocorre porque as redes de observação normalmente são dimensionadas para permitir uma avaliação climática em escala regional, e não para previsão em tempo real. Assim, pode se afirmar que a densidade de postos pluviométricos

existentes não é adequada para a operação de um sistema de previsão de cheias em tempo real (WMO, 2011).

Considerando que os recursos são limitados, mesmo para países desenvolvidos, se torna importante para o gestor do sistema de operação do reservatório a resposta das seguintes questões: Se estiverem disponíveis recursos para instalação de mais "n" postos de chuva com telemetria, em quais regiões da bacia esses postos devem ser instalados para obter maior ganho na previsão?

2. MÉTODOS DE MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO

A maior parte da precipitação na região da bacia do rio Taquari-Antas ocorre na forma de chuva, cuja medição, normalmente, é realizada utilizando pluviômetros. Os pluviômetros podem ser do tipo manual ou do tipo automático.

Pluviômetros manuais normalmente fornecem uma única medição por dia, e dificilmente permitem a transmissão dos dados em tempo atual. Por este motivo os pluviômetros manuais não são utilizados para previsão de cheias. Em contrapartida, pluviômetros automáticos permitem medir a chuva em intervalos de 1 hora, ou até menos do que isso, e facilitam a transmissão dos dados em tempo atual. A precipitação também pode ser estimada por sensoriamento remoto, por radares ou por sensores instalados em satélites. Estes métodos tem a vantagem de permitir uma análise da distribuição espacial da chuva, porém não são tão acurados em termos quantitativos, ou seja, apresentam erros consideráveis na estimativa pontual da chuva.

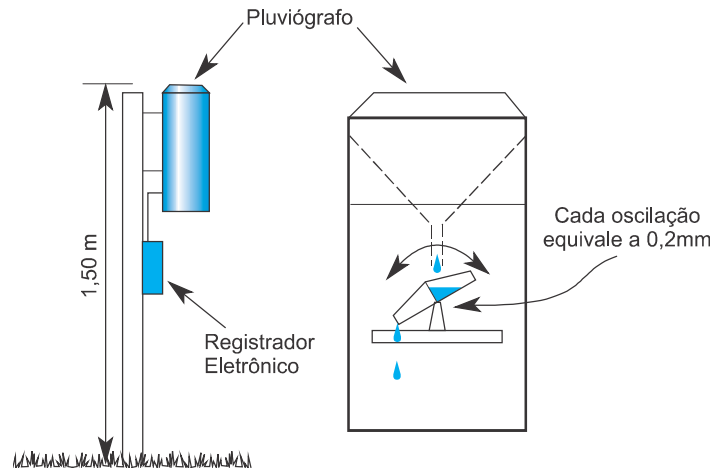
2.1. Pluviômetros automáticos com telemetria

Existem pluviômetros adaptados para realizar medições de forma automática, registrando os dados medidos em intervalos de tempo inferiores a um dia. Estes equipamentos são denominados pluviômetros automáticos ou pluviógrafos. Os pluviógrafos originalmente eram mecânicos, e utilizavam uma balança para pesar a água da chuva coletada, e um papel para registrar o total precipitado de forma analógica. Estes pluviógrafos antigos, com registro analógico em papel, foram substituídos, nos últimos anos, por pluviômetros automáticos digitais, que registram os dados em uma memória ou data logger (Collischonn e Dornelles, 2013).

O pluviômetro automático mais comum, atualmente, é o de cubas basculantes, em que a água recolhida é dirigida para um conjunto de duas cubas articuladas por um eixo central (Figura 1). A água é dirigida inicialmente para uma das cubas e quando esta cuba recebe uma quantidade de água equivalente a 20 g, aproximadamente, o conjunto gira em torno do eixo, a cuba cheia esvazia e a cuba vazia começa a receber

água. Cada movimento das cubas basculantes equivale a uma lâmina precipitada (por exemplo 0,2 mm), e o aparelho registra o número de movimentos e o tempo em que ocorre cada movimento.

Figura 1 - Um pluviômetro automático de cubas basculantes.



Fonte: Collischonn e Dornelles (2013).

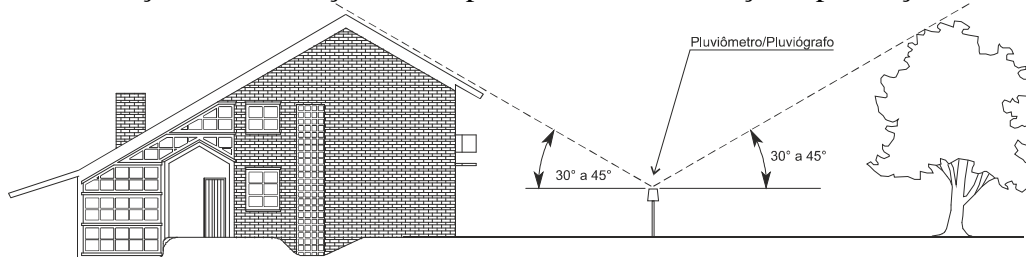
A principal vantagem do pluviômetro automático em relação ao pluviômetro de medição manual, é que o primeiro permite analisar detalhadamente os eventos de chuva e sua variação ao longo do dia. Isto é especialmente importante em chuvas convectivas, cuja duração é curta e cuja intensidade é alta, e em bacias urbanas, que são as áreas em que esse tipo de chuva causa os maiores problemas. A possibilidade de medição detalhada em intervalos de tempo de 1 hora ou menos também é fundamental em bacias hidrográficas de resposta rápida, como é o caso da bacia do rio Taquari-Antas, especialmente considerando a resposta dos principais afluentes do rio principal.

Além disso, o pluviômetro automático pode ser acoplado a um sistema de transmissão de dados via rádio ou telefone celular, facilitando a criação e operação de sistemas de monitoramento, previsão e alerta de eventos hidrológicos extremos. O sistema de comunicação normalmente é composto por um modem e antena, e a transmissão dos dados armazenados no data logger pode ser feita via tecnologia de comunicação GPRS (General Packet Radio Services) ou até mesmo via satélite geostacionário, a exemplo do GOES. A vantagem do GPRS é que este sistema possui menor custo de instalação e é de maior simplicidade, enquanto que o equipamento baseado no satélite GOES é usualmente mais confiável por ser menos afetado por condições climáticas adversas e pela sua maior regularidade na transmissão de dados.

A Organização Mundial de Meteorologia (OMM) recomenda que o instrumento de medição de precipitação não sofra incidência direta de ventos, que podem prejudicar a precisão da medição (WMO, 1994). Idealmente, o pluviômetro deve ser instalado em local protegido do vento. Por outro lado, o pluviômetro deve estar afastado de obstáculos, de forma a manter livre o espaço acima de um ângulo de 30° a 45° em relação ao horizonte, conforme mostra a Figura 2.

Um estudo recente realizado na Universidade Federal do Paraná mostrou que o pluviômetro automático de cubas basculantes pode subestimar as precipitações muito intensas (Braga e Fernandes, 2007). Mesmo assim, os erros na estimativa de chuva utilizando pluviômetros de cubas basculantes são muito inferiores aos erros da estimativa de chuva por radar ou por satélite, o que ressalta a importância de observações in situ em tempo real para o bom desempenho de um sistema de previsão de cheias.

Figura 2 - Recomendações de instalação de um pluviômetro com relação à presença de obstáculos



Fonte: Collischonn e Dornelles (2013).

2.2. Radar

A chuva também pode ser estimada utilizando radares meteorológicos. A medição de chuva por radar está baseada na emissão de pulsos de radiação eletromagnética que são refletidos pelas partículas de chuva na atmosfera, e na medição da intensidade do sinal refletido. A relação entre a intensidade do sinal enviado e recebido, denominada refletividade, é correlacionada à intensidade de chuva que está caindo em uma região. A principal vantagem do radar é a possibilidade de fazer estimativas de taxas de precipitação em uma grande região no entorno da antena emissora e receptora, embora existam erros consideráveis quando as estimativas são comparadas com dados de pluviógrafos.

Em alguns países, como os EUA, a Inglaterra e a Alemanha, já existe uma cobertura completa do território com sensores de radar para estimativa de chuva. No Brasil existem poucos radares instalados para uso específico em meteorologia, mas há uma tendência de aumento deste número. O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) apresenta estimativas de chuva obtidas a partir de radares em algumas regiões do Brasil

(<http://sigma.cptec.inpe.br/radar/>) e atualmente está em curso um esforço do CEMADEN para a instalação de novos radares meteorológicos no território nacional.

De acordo com a página Web do CEMADEN, um contrato de aquisição de nove radares foi assinado em 2012. O consórcio formado pela empresa alemã Selex Systems Integration (que tem mais de 300 radares instalados ao redor do mundo) e pela brasileira Engelétrica Sul, de Canoas (RS), ficou responsável pelo fornecimento e instalação dos equipamentos, em um investimento de pouco mais de R\$ 72 milhões. Entretanto, a partir das informações disponibilizadas pelo CEMADEN, não há previsão de um radar especificamente na região da bacia do rio Taquari-Antas.

2.3. Satélite

Também é possível fazer estimativas da precipitação a partir de imagens obtidas por sensores instalados em satélites. A temperatura do topo das nuvens, que pode ser estimada a partir de satélites, tem uma boa correlação com a precipitação. Além disso, existem experimentos de radares a bordo de satélites que permitem aprimorar a estimativa baseada em dados de temperatura de topo de nuvem.

Entretanto, a estimativa de precipitação por sensoriamento remoto a partir de sensores instalados em satélites apresenta ainda erros consideráveis. Sua utilização prática para previsão hidrológica em tempo atual tem sido avaliada em bacias de resposta lenta, e com baixíssima densidade de postos pluviométricos automáticos, diferentes, portanto, da bacia do rio Taquari-Antas. Embora existam missões recentes como o Global Precipitation Measurement (GPM), com produtos de estimativa de chuva com informação a cada 30 minutos - *Near Real Time*, estes dados são disponibilizados ao público em geral com atraso de algumas horas e ainda carecem de avaliações para serem utilizados de forma apropriada em sistemas de previsão de cheias.

2.4. Outras metodologias de monitoramento pluviométrico em tempo atual

Uma forma alternativa de monitorar a intensidade da precipitação em tempo real que está em desenvolvimento atualmente envolve a análise do efeito da chuva sobre os sinais de micro-ondas entre antenas de telefonia celular.

As operadoras de telefonia celular operam *links* de radiação na faixa de micro-ondas entre pares de antenas afastadas alguns km ou dezenas de km. A presença de gotas de chuva afeta o sinal de radiação eletromagnética de uma forma que é proporcional à intensidade da chuva. Esta perturbação do sinal, que é indesejável do ponto de vista da operação da rede de telefonia, pode ser utilizada para estimar a chuva na região localizada entre cada par de antenas.

Uma demonstração do uso desta tecnologia para estimar a chuva em todo o território holandês foi realizada por Overeem et al. (2013), com resultados surpreendentemente positivos. Alguns testes realizados na África por Doumonia et al. (2015) também demonstram a aplicabilidade do método em áreas tropicais. Além disso, atualmente existe uma iniciativa da Universidade de Wageningen¹ e de outros institutos Europeus para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento virtual de chuva em parceria com o CEMADEN, com o uso desta tecnologia em escala nacional.

2.5. Recomendações técnicas sobre densidade de postos pluviométricos

A densidade de postos pluviométricos em uma região pode ser dada pelo número de postos por uma área de 1000 km², ou da área média correspondente a cada posto pluviométrico.

Existem métodos analíticos formais para identificar a densidade ótima de redes de monitoramento pluviométrico e para definir a localização de postos pluviométricos adicionais em uma rede de monitoramento (Eagleson, 1967; Moss, 1982; Cheng et al., 2007; Li et al., 2012). Uma revisão relativamente recente destes métodos é apresentada em Mishra e Coulibaly (2009).

Entretanto, no contexto da presente análise na bacia do rio Taquari-Antas, este tipo de procedimento não foi adotado em função do conhecimento anterior da bacia obtido ao longo do projeto, e em função de limitações do cronograma do projeto. No lugar desta abordagem mais formal, foi adotado no presente trabalho uma metodologia baseada em critérios práticos originados da experiência obtida com a operação preliminar do sistema de previsão de cheias (Siqueira, 2015), e de exemplos de sistemas de previsão existentes em outros países.

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) apresenta um conjunto de recomendações sobre a densidade mínima de postos pluviométricos em diferentes regiões. De acordo com estas recomendações, regiões montanhosas, como as da bacia do rio Taquari-Antas, deveriam ter pelo menos 1 posto pluviométrico convencional (de leitura manual) a cada 250 km² e pelo menos 1 posto pluviométrico com registrador automático a cada 2500 km² (WMO, 2008). Entretanto, estas recomendações são critérios mínimos para avaliação climática, ou seja, não são específicas para sistemas de previsão de cheias.

Em sistemas de previsão e alerta de cheias a densidade de postos pluviométricos normalmente é muito mais alta, como se observa nos sistemas existentes nos Estados Unidos e na Europa.

¹Toward continental rainfall estimation using microwave links from cellular communication networks. Disponível em: <http://oss.deltares.nl/c/document_library/get_file?uuid=4f09ec00-09e2-4745-bc1e-3e15bbe550ac&groupId=145641>. Acesso em: 17/09/2015.

O rio Tibre, na Itália, por exemplo, tem uma rede telemétrica que conta com densidade de 1 posto pluviométrico a cada 140 km², operando desde 1988 (Barbetta et al., 2009).

A Figura 3 apresenta o mapa de localização das estações pluviométricas telemétricas utilizadas no sistema de previsão e alerta de cheias do estado de Baden-Württemberg, na Alemanha. O sistema conta com mais de 300 postos pluviométricos numa área de, aproximadamente, 36.000 km², o que corresponde a uma densidade próxima de 1 posto a cada 100 km².

No Reino Unido a densidade de postos pluviométricos automáticos é semelhante ao exemplo da Alemanha. Um relatório da agência encarregada de realizar previsões de cheias no Reino Unido, indica uma densidade de 1 posto a cada 149 km². O mesmo relatório também informa que 47% da área territorial da Inglaterra e País de Gales está a menos de 5 km de um posto pluviométrico automático, e 75% do território está a menos de 7,5 km deste tipo de instrumento (DEFRA, 2003).

De maneira geral, diversos estudos demonstram que o aumento da densidade da rede de monitoramento pluviométrico tem um impacto positivo nos resultados de modelos de previsão de vazão.

Em um estudo na bacia do rio Thur, na Suíça, Girons Lopez et al. (2015) verificaram que, aumentando o número de postos pluviométricos até uma densidade de 24 postos pluviométricos a cada 1000 km², os erros de interpolação da chuva decresceram com o aumento da densidade. A partir desta densidade, que corresponde a cerca de 40 km² por posto pluviométrico, os erros de interpolação de chuva mantiveram-se aproximadamente constantes.

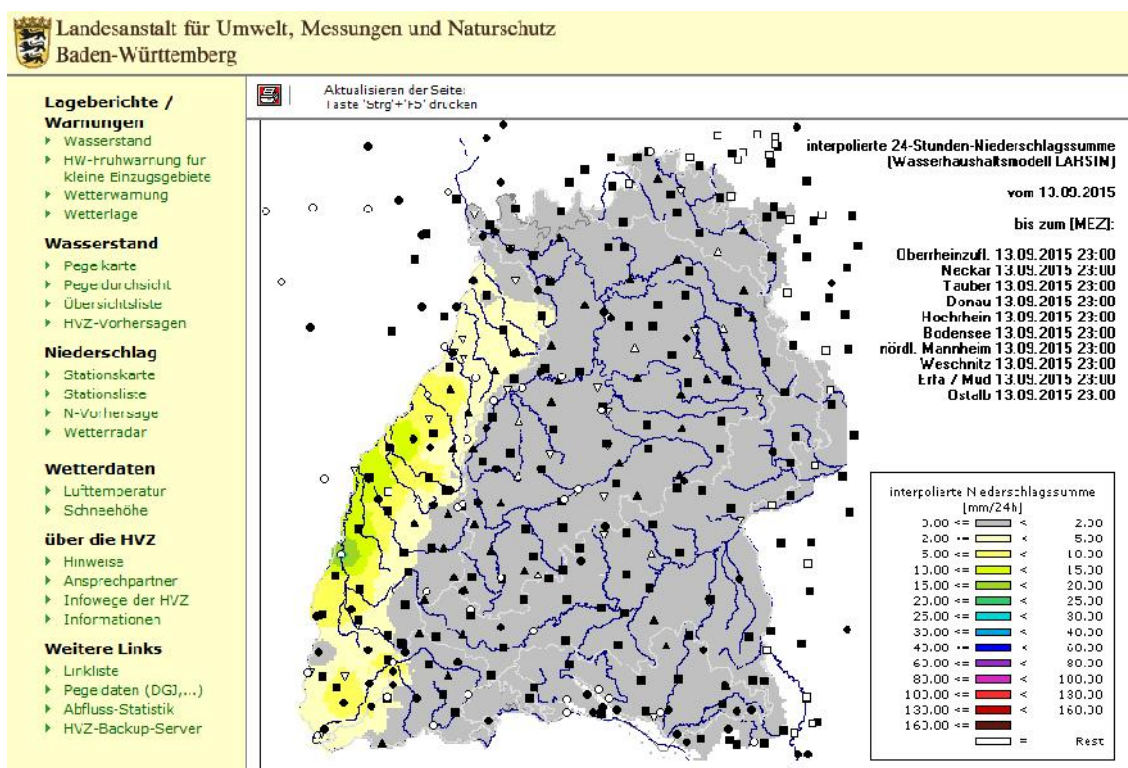
Alguns estudos realizados na China sugerem que a densidade de postos pluviométricos pode ser mais baixa, dependendo das características da bacia analisada. Xu et al. (2013) analisaram dados da bacia do rio Xiangjiang, na China, e concluíram que um número de pluviômetros entre 93 e 128 permitia atingir resultados aceitáveis com um modelo hidrológico nesta bacia de, aproximadamente, 95.000 km². Em outras palavras, estes autores sugerem que a densidade de postos pluviométricos deve ser superior a 1 a cada 1000 km².

Dong et al. (2005) analisaram dados da bacia do rio Qingjiang, na China, e concluíram que uma densidade de aproximadamente 1 posto pluviométrico a cada 2000 km² seria suficiente para reduzir os erros na estimativa da chuva média, em uma bacia de, aproximadamente 12.000 km².

Um estudo realizado no Brasil, em uma bacia vizinha à bacia do rio Taquari-Antas, Andreolli et al. (2006) mostraram que, na bacia do rio Uruguai a montante de Machadinho, os erros da previsão de vazão podem ser reduzidos pelo aumento da densidade de postos pluviométricos entre 1 a cada 2000 km², aproximadamente, para 1 posto a cada 800 km², aproximadamente. Neste estudo não foi identificado um

patamar a partir do qual os resultados das previsões hidrológicas não tivesse sensibilidade à densificação da rede pluviométrica. Este resultado sugere que as previsões de vazões poderiam ser melhoradas ainda mais caso fosse possível aumentar a densidade de postos pluviométricos até atingir densidades semelhantes às adotadas em sistemas de previsão da Europa e dos Estados Unidos.

Figura 3 - Mapa da rede de pluviômetros telemétricos do sistema de previsão e alerta de cheias do estado de Baden-Württemberg, na Alemanha, mostrando mais de 300 postos numa área de, aproximadamente, 36.000 km².



Em resumo, a experiência internacional em sistemas de previsão de cheias mostra que há vantagens em aumentar a densidade de postos pluviométricos quando o objetivo é obter boas previsões de cheias. Os valores de densidade adotados atualmente em países mais desenvolvidos economicamente aproximam-se de 1 posto pluviométrico a cada 100 km².

3. MÉTODOS DE MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO

O monitoramento fluviométrico para previsão de cheias pode incluir medição e transmissão de informações de cota e de vazão.

Na maior parte dos casos a estimativa da vazão, quando é realizada, é baseada na medição da cota e na utilização de uma curva-chave para converter o valor de cota em um valor de vazão.

3.1. Cota

As medições de cota do nível da água podem ser realizadas utilizando réguas linimétricas de leitura manual ou equipamentos automáticos denominados linígrafos. As réguas linimétricas são, em geral, feitas de metal, e apresentam uma escala marcada a cada 2 cm (Santos et al., 2001). Cada uma das réguas, denominada "lance", tem 1 a 2 metros.

No Brasil, nos postos fluviométricos em que é adotada a leitura manual do nível da água, essa leitura é realizada duas vezes ao dia (início da manhã e final da tarde), por um observador. A medição do nível da água de forma automática pode ser realizada de diversas formas. As mais comuns são os linígrafos de boia, os linígrafos de bolha, os linígrafos de pressão, e os sensores de distância ultrassônicos.

Os linígrafos de boia utilizam um sistema de boia e contrapeso, unidos por um cabo. A boia é instalada em um poço vertical, construído na margem, ligado ao rio por um tubo (Santos et al., 2001). A medida que o nível do rio sobe, o nível da água no poço também sobe, modificando a posição da boia. O cabo, conectado à boia e ao contrapeso, se movimenta e aciona um eixo ligado a um mecanismo registrador, que pode ser um gráfico em papel, ou um registrador digital.

Os linígrafos de bolhas são preferidos em locais em que a construção dos linígrafos de boia é muito difícil, como rios com margens rochosas (Santos et al., 2001). Nesse tipo de linígrafo, um conduto ou mangueira com ar é estendida desde a margem até o fundo do rio, e a pressão interna na mangueira é aumentada até que se produzam bolhas, indicando que o ar está saindo da mangueira no fundo do rio, e que a pressão do ar é igual à pressão da água nesse local. A medição do nível da água é, portanto, realizada de forma indireta, a partir da pressão do ar na mangueira necessária para produzir bolhas. Essa pressão é medida por um manômetro, que fica fora da água.

Os linígrafos de pressão usam materiais que alteram suas características elétricas de acordo com a pressão (piezoresistivos). O sensor é instalado no fundo do rio, e é conectado por um cabo a um registrador eletrônico.

Os sensores ultrassônicos são instalados numa posição fixa fora da água, por sobre a superfície, acima da máxima cota que o rio pode atingir, e emitem pulsos de ultrassom que são refletidos pela água. O eco do sinal é recebido novamente pelo sensor, e a distância do sensor até a superfície da água é estimada pelo tempo decorrido entre a emissão do pulso e a recepção do eco. Quando as medições são realizadas em um local onde a superfície da água é relativamente lisa e sem ondas, esses sensores tem precisão de alguns milímetros.

3.2. Vazão

Em geral, a estimativa de vazão é realizada a partir da medição de cota do nível da água, e a posterior transformação do valor de cota em um valor de vazão através de uma função de transferência. Esta função é denominada curva-chave, e pode ser obtida de forma empírica (em seções naturais de rios) ou de forma teórica (em calhas ou vertedores de características geométricas conhecidas).

A curva-chave obtida empiricamente é uma relação ou equação ajustada aos dados de medição de vazão. Essa curva pode ser ajustada manualmente, de forma gráfica, ou podem ser utilizadas equações de ajuste, através de regressão.

A curva-chave de uma seção de rio pode se alterar com o tempo, especialmente pelos processos de erosão e assoreamento em rios de leito arenoso. Modificações artificiais, como aterros e pontes, também podem modificar a curva chave. Por isso, é necessário realizar medições de vazão regulares, mesmo após a definição da curva. Novas medições que não seguem o comportamento geral das medições anteriores podem indicar alterações na seção ou no trecho de medição, sugerindo que uma nova curva-chave deve ser ajustada.

Em trechos de rios próximos à foz, próximos da confluência com outro rio, ou na entrada de reservatórios, a relação entre cota e vazão pode não ser unívoca, isto é, a mesma vazão pode ocorrer para cotas diferentes. Em alguns casos, esse problema pode ser superado gerando uma família de curvas-chave, através da combinação da vazão, da cota local e da cota de jusante. Porém, essa alternativa é bastante trabalhosa e deve ser evitada, dando-se preferência à instalação de postos fluviométricos em locais livres da influência de jusante.

Em obras como barragens, é possível estimar a vazão que passa através de estruturas construídas, como calhas e vertedores, diretamente a partir da cota do nível da água. Isto ocorre porque estas estruturas normalmente apresentam uma relação única e conhecida entre o nível da água e a vazão.

Assim, em locais em que existem barragens a vazão pode ser estimada pelo nível da água e pelas características do vertedor. Quando necessário, deve ser considerada ainda a vazão que passa pelas turbinas (vazão turbinada) da usina hidrelétrica. Este tipo de estimativa de vazão é facilitada quando as barragens dispõem apenas de vertedores livres, sem comportas, como é o caso típico de PCH's e CGH's.

4. A BACIA DO RIO TAQUARI-ANTAS

A bacia do rio Taquari-Antas está localizada na porção nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, e tem uma área de drenagem de 26.500 Km² na sua foz, no rio Jacuí. A bacia abrange parcialmente ou totalmente 119 municípios, e a população total da bacia é estimada em 1,17 milhões de habitantes.

A Figura 4 apresenta o relevo da bacia do rio Taquari-Antas. Observa-se que as altitudes variam entre quase 1.300 metros na região leste e nordeste da bacia até altitudes inferiores a 10 metros próximo da foz.

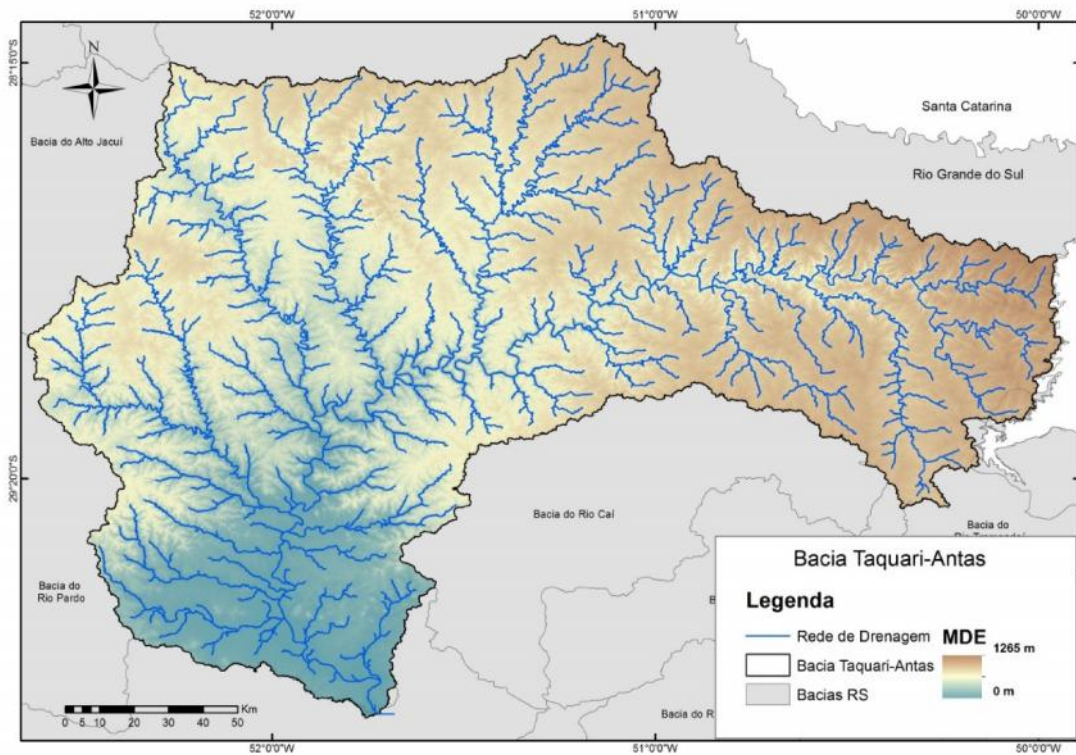
De acordo com informações da FEPAM, a bacia é dividida em três regiões distintas em função das características topográficas, as quais são denominadas de Alto, Médio e Baixo Taquari-Antas.

Na região do Alto Taquari-Antas o rio principal (denominado Antas) tem 183 km de extensão entre as nascentes e a confluência com o rio Quebra-Dentes. Nesta região o rio principal apresenta acentuada declividade média (cerca de 5 metros por km), e o leito é encaixado em um vale estreito apresentando muitas corredeiras.

O segundo trecho de montante para jusante é o Médio Taquari-Antas, e é definido pela região entre a foz do rio Quebra-Dentes a montante e a foz do rio Guaporé a jusante. Nesta região o rio principal tem 207 km de comprimento, e apresenta uma declividade média de 1,6 metros por km, ainda apresentando vales encaixados e algumas corredeiras.

Finalmente, o trecho do Baixo Taquari-Antas é definido pela região entre a foz do rio Guaporé e a foz do rio Taquari, junto ao rio Jacuí. Nesta região o rio principal é denominado rio Taquari, e tem 140 km de extensão, com declividade média de 0,2 metros por km. Na região do Baixo Taquari-Antas o vale do rio principal e de alguns afluentes se alarga, e existem diversas cidades localizadas às margens do rio. É nesta região que os principais problemas de inundações ocorrem na bacia.

Figura 4 - Relevo da bacia do rio Taquari-Antas (obtido do SRTM com resolução de 90 metros).



A Figura 5 apresenta um mapa destacando as bacias hidrográficas dos principais afluentes do rio Taquari-Antas. Observa-se que na região a montante da confluência com o rio Quebra-Dentes os principais tributários (rio Camisas, rio Tainhas e rio Lajeado-Grande) estão localizados ao Sul do rio principal. Já na região do Médio Taquari-Antas (entre a confluência com o rio Quebra-Dentes e o rio Guaporé) os principais afluentes estão localizados na margem direita do rio principal.

A Tabela 1 apresenta a área de drenagem dos principais afluentes. Observa-se que o afluente com a maior área de drenagem é o rio da Prata. O rio Carreiro e o rio Guaporé são, respectivamente, os tributários de terceira e quarta maior área de drenagem. A área de drenagem somada destes três tributários importantes localizados na região do Médio Taquari-Antas é de 8.832 km².

Uma característica geográfica relevante da bacia do rio Taquari-Antas é que o trecho do rio das Antas entre a foz do rio da Prata e a foz do rio Guaporé tem pouco mais de 100 km de extensão. A área de drenagem do rio das Antas a montante da foz do rio da Prata é de 8.371 km², e os três afluentes (Prata, Carreiro e Guaporé) contribuem com mais 8.832 km², em uma conformação de bacia com características radiais, se o trecho for analisado isoladamente. Esta característica, juntamente com o relevo e as características de solos e de litologia, é decisiva na formação de cheias rápidas nesta bacia.

Figura 5 - Mapa da bacia do rio Taquari-Antas destacando os principais afluentes do rio principal.

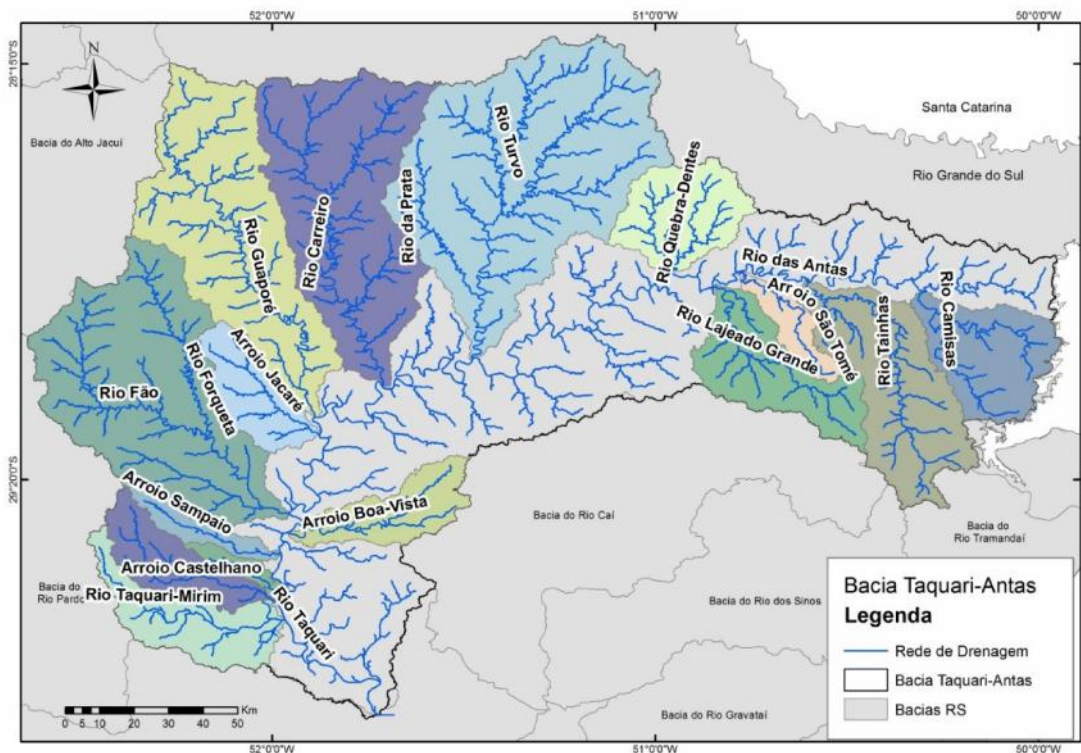
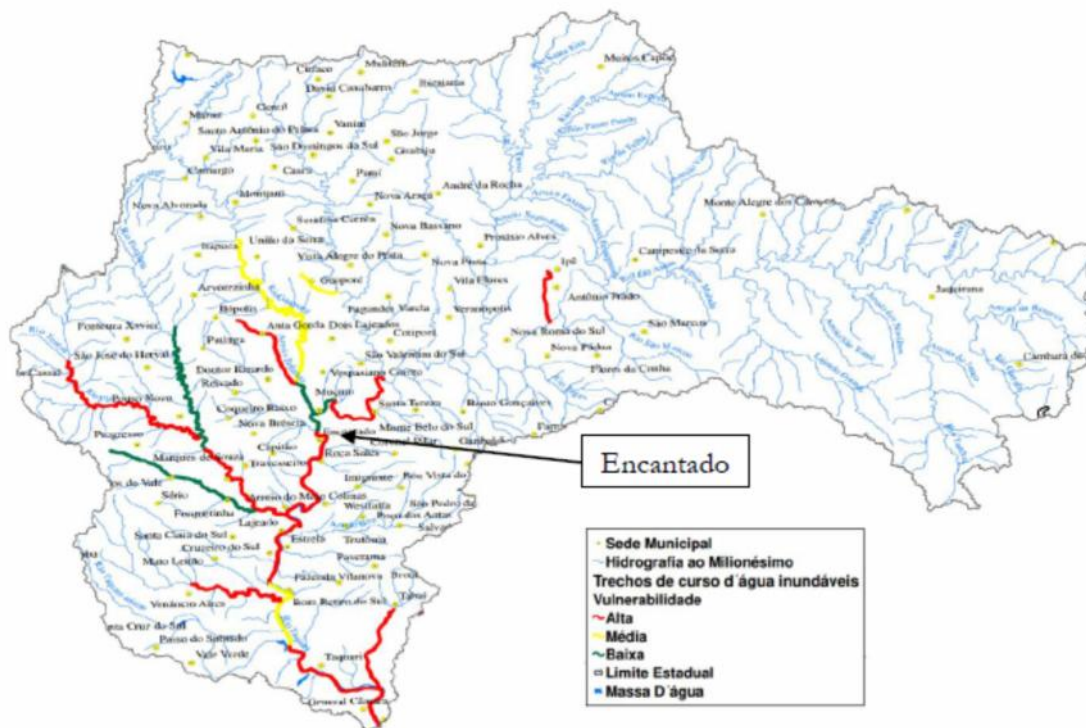


Tabela 1 - Área de drenagem dos principais afluentes do rio Taquari-Antas.

Curso d'água	Área de drenagem (km ²)
Rio da Prata	3.777
Rio Forqueta	2.846
Rio Carreiro	2.565
Rio Guaporé	2.490
Rio Tainhas	1.452
Rio Lajeado Grande	945,5
Rio Camisas	894
Arroio Quebra-Dentes	796
Arroio Boa Vista	577
Arroio Castelhana	565
Arroio Jacaré	538
Arroio São Tomé	286
Arroio Sampaio	255
Rio Taquari-Mirim	182

As características geográficas da região e as características da ocupação humana fazem com que os principais problemas de inundações ocorram na região do Baixo Taquari-Antas, como mostra a Figura 6. Observa-se que a maioria dos trechos de alta vulnerabilidade (marcados em vermelho) encontram-se a jusante da confluência do rio Guaporé com o rio Taquari-Antas (localizada imediatamente a montante da cidade de Encantado, destacada na Figura 6).

Figura 6 - Mapa de vulnerabilidade de inundação na bacia do Taquari-Antas.

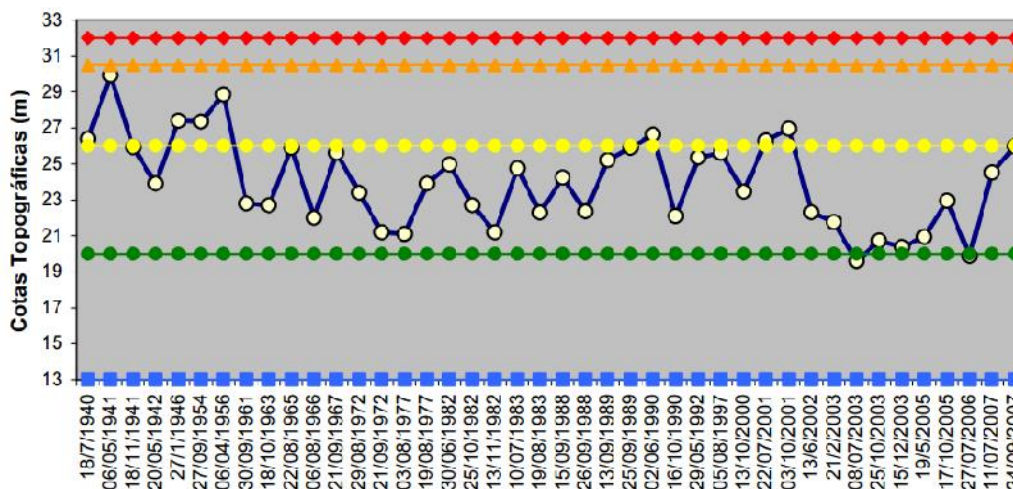


Fonte: Adaptado de ANA (2013).

Em relação às condições de ocupação na bacia, a Figura 7 apresenta a série histórica das cotas de inundação na cidade de Lajeado (situada cerca de 65 km a jusante de Encantado) retiradas do trabalho de Eckhardt (2008). É interessante notar que entre os anos de 1940 e 2002 não haviam sido oficialmente registrados níveis de inundação abaixo da cota 21 m, o que passou a ser uma realidade da série histórica a partir daquele ano. Esta situação sugere que novas áreas tenham sido ocupadas próximo às margens do rio Taquari com o passar dos anos, o que permite associar uma maior frequência de inundação à maior exposição da população a estes eventos no local.

Outras informações mais detalhadas sobre a bacia podem ser encontradas no Relatório de Diagnóstico da Bacia.

Figura 7 - Série histórica de níveis de inundação registrados na cidade de Lajeado. Fonte: Eckhardt (2008).



5. DIAGNÓSTICO DA REDE DE MONITORAMENTO TELEMÉTRICO NA BACIA DO RIO TAQUARI-ANTAS

5.1. Rede de monitoramento pluviométrico

Existem diversas entidades que mantêm postos de monitoramento pluviométrico na bacia do rio Taquari-Antas.

A Agência Nacional de Águas mantém um conjunto de postos pluviométricos em operação na bacia, que são operados pela CPRM. Além dos postos pluviométricos em operação existem diversos postos pluviométricos no banco de dados da ANA que já não são mais operados atualmente. Entretanto, estes postos pluviométricos são de leitura manual, ou seja, não são telemétricos.

Outras entidades que mantêm postos pluviométricos e/ou recebem informações de outras fontes na região da bacia do rio Taquari-Antas são o INMET, a CPRM, a UNIVATES, o SMAD e o CEMADEN.

5.1.1. Pluviômetros telemétricos do INMET

O INMET opera estações meteorológicas automáticas em todo o Brasil, e disponibiliza os dados destas estações em intervalo de tempo horário. As variáveis monitoradas são temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento, pressão atmosférica e precipitação.

Na região da bacia do rio Taquari-Antas o INMET opera oito estações meteorológicas automáticas, cuja localização pode ser vista na Figura 8. Observa-se que três destas estações meteorológicas estão fora da bacia, outras três estão sobre o divisor de águas, e duas estão localizadas no interior da bacia. Esta Figura 8 mostra que a rede do INMET, isoladamente, não permite um monitoramento adequado da bacia para

fins de previsão de cheias, já que grandes áreas relevantes (como as bacias dos rios Carreiro, Guaporé, Prata e Tainhas) não tem nenhum posto pluviométrico.

Por outro lado, as estações automáticas do INMET são estáveis, apresentando poucas falhas de operação ao longo do período em que tem sido aplicado o Sistema Experimental de Previsão de Cheias desenvolvido pelo IPH-UFRGS.

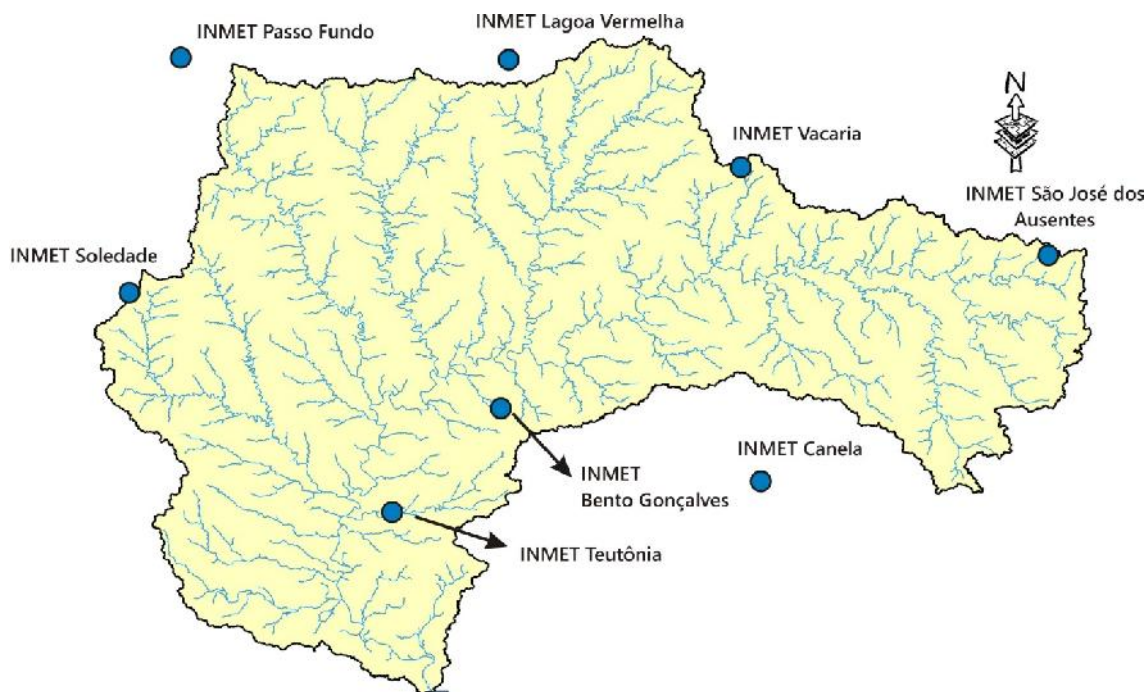
5.1.2. Pluviômetros telemétricos da CPRM

A CPRM desenvolveu e mantém um Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE), que é uma ferramenta capaz de coletar, armazenar, analisar e divulgar os dados das estações automáticas coletados por diversos equipamentos hidrometeorológicos, em diversas bacias hidrográficas.

O SACE da CPRM é aplicado em diversas bacias do Brasil. Na bacia do rio Taquari-Antas o SACE-CPRM dispõe de 7 postos pluviométricos automáticos, dispostos como mostrado na Figura 9. Observe-se que estes postos estão concentrados na região do Baixo Taquari-Antas, com exceção do posto localizado na bacia do rio Tainhas (posto Passo Tainhas). Uma descrição do sistema é apresentada por Chagas et al. (2014).

No período em que vem sendo operado o Sistema Experimental de Previsão de Cheias no IPH-UFRGS, os postos pluviométricos da CPRM apresentaram mais falhas de operação do que os postos do INMET, mas também apresentaram boa disponibilidade de dados, exceto o posto Passo Tainhas, em que os dados de precipitação normalmente não estavam disponíveis.

Figura 8 - Mapa de localização das estações meteorológicas automáticas do INMET que se encontram na região da bacia do rio Taquari-Antas.



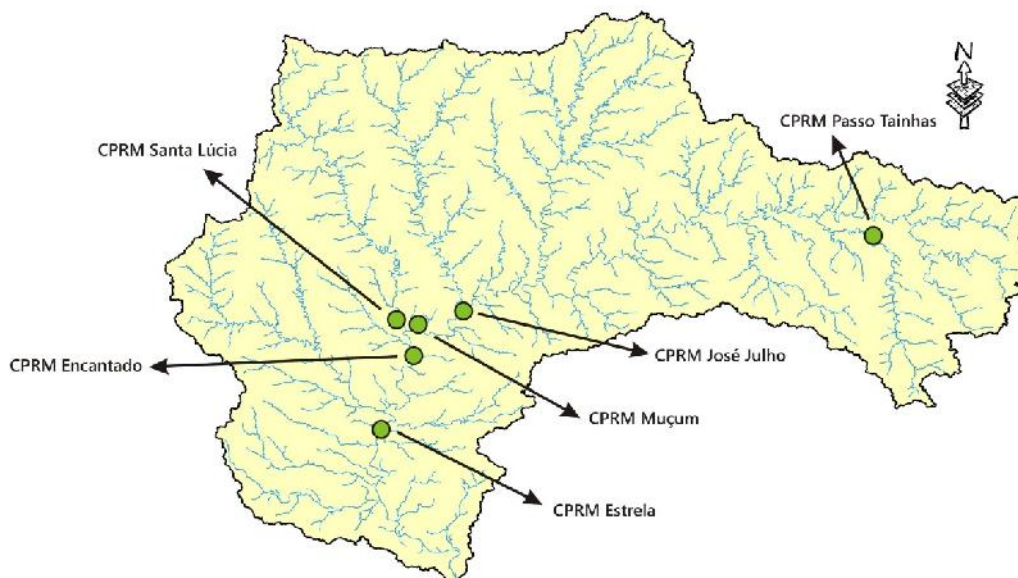
5.1.3. Pluviômetros telemétricos da Univates

A UNIVATES, em coordenação conjunta com a Administração das Hidrovias do Sul (AHSUL), operou um sistema de monitoramento de níveis em tempo real na bacia do rio Taquari entre os anos de 2003 e 2007, o qual foi desativado por alguns anos devido a alterações na tecnologia de transmissão de dados (Both et al, 2008).

Recentemente, o sistema foi reativado através de um projeto intitulado “Revitalização do sistema de previsão e alerta de inundações do Vale do Taquari”, recebendo inclusive equipamentos de medição automática de precipitação. Os dados são disponibilizados em um website para fins de acompanhamento das informações hidrológicas na bacia, cujo endereço é http://netsenses.univates.br/station_map.php.

A Figura 10 apresenta a localização das estações automáticas mantidas pela UNIVATES. Observa-se que são apenas oito postos, mas que estão muito bem distribuídos espacialmente.

Figura 9 - Localização dos postos pluviométricos telemétricos do sistema SACE da CPRM na bacia do rio Taquari-Antas (não estão ilustrados os postos de Taquari e Mariante, que começaram a operar mais recentemente).



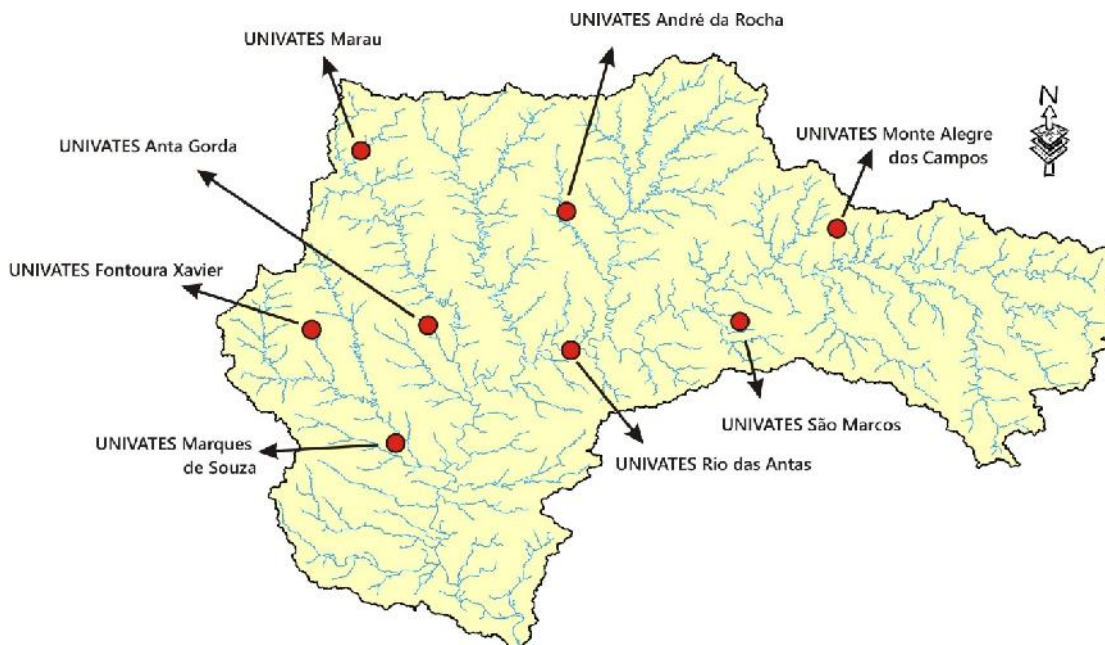
No período recente de testes em que foi operado o Sistema Experimental de Previsão de Cheias no contexto do projeto no IPH-UFRGS, os postos pluviométricos da UNIVATES apresentaram mais falhas de operação do que os postos do INMET e da CPRM.

5.1.4. Pluviômetros telemétricos CEMADEN

O CEMADEN está conduzindo, atualmente, um projeto denominado "Pluviômetros Automáticos", que tem como objetivo, de acordo com a página web do CEMADEN, “ampliar a rede de monitoramento pluviométrico no Brasil, para melhorar a previsão de desastres naturais e reduzir os danos socioeconômicos e ambientais”.

Ainda de acordo com a página Web do CEMADEN, “o projeto consiste na instalação de pluviômetros automáticos em locais próximos a áreas de risco de desastres naturais, sendo necessário o estabelecimento de parcerias com entidades que possam abrigar este equipamento. Estas entidades formarão uma importante rede nacional de colaboração para redução de desastres, em conjunto com órgãos governamentais”.

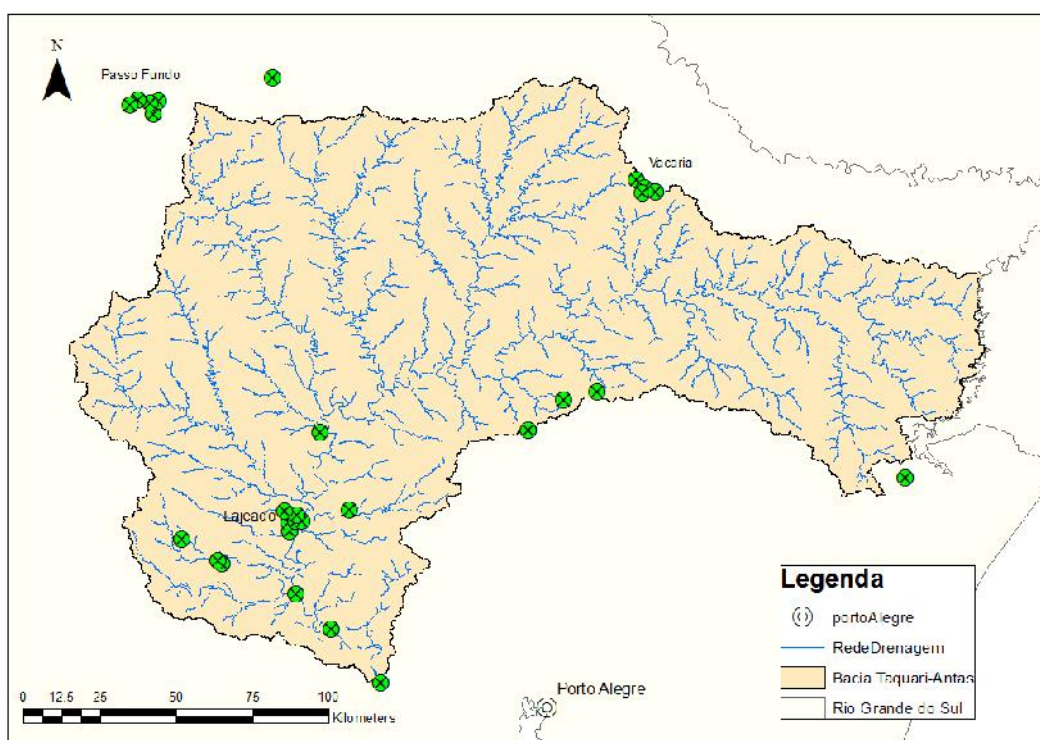
No contexto do projeto Pluviômetros Automáticos do CEMADEN estão operando (em setembro de 2015) 28 postos pluviométricos automáticos na região da bacia do Taquari-Antas, identificados na Tabela 2 e no mapa da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** As coordenadas destes postos podem não corresponder ao local exato em que estão instalados, porque foram obtidas a partir da identificação dos pontos no mapa disponibilizado na página Web do CEMADEN.

Figura 10 - Mapa de localização dos postos de monitoramento da UNIVATES.

Tabela 2 - Pluviômetros do CEMADEN na região da bacia do rio Taquari-Antas.

NÚMERO	MUNICÍPIO	REFERÊNCIA LOCAL (NOME)	LONGITUDE	LATITUDE
1	Teutônia	Escola Alfredo Schneider	-51.81	-29.45
2	Cruzeiro do Sul	Secretaria da Agricultura	-51.984	-29.513
3	Lajeado	Santo Antonio	-51.987	-29.487
4	Estrela	Escola Leo Joas	-51.968	-29.482
5	Estrela	Posto de Saúde Boa União	-51.948	-29.484
6	Lajeado	Centro	-51.963	-29.466
7	Lajeado	Moinhos	-52	-29.452
8	Venâncio Aires	Centro 432260803 A	-52.185	-29.608
9	Venâncio Aires	Centro 432260802 A	-52.195	-29.6
10	Venâncio Aires	Centro Linha Brasil	-52.302	-29.537
11	Mariante	Gomes	-51.967	-29.698
12	Taquari	Prefeitura Municipal	-51.864	-29.8
13	São Jerônimo	Centro	-51.716	-29.958
14	Encantado	Centro	-51.894	-29.221
15	Caxias do Sul	Santa Fé	-51.179	-29.125
16	Caxias do Sul	Forqueta	-51.282	-29.214
17	Caxias do Sul	Parque dos Pinheiros	-51.08	-29.103
18	Itati	Restaurante Mirador	-50.172	-29.354
19	Passo Fundo	Planaltina	-52.385	-28.284
20	Passo Fundo	Parque Farroupilha	-52.37	-28.245
21	Passo Fundo	Centro	-52.395	-28.252
22	Passo Fundo	Vila Vera Cruz	-52.432	-28.244
23	Passo Fundo	Integração	-52.454	-28.258

NÚMERO	MUNICÍPIO	REFERÊNCIA LOCAL (NOME)	LONGITUDE	LATITUDE
24	Água Santa	Centro	-52.034	-28.176
25	Vacaria	Centro 432250901 A	-50.965	-28.477
26	Vacaria	Centro 432250904 A	-50.94	-28.502
27	Vacaria	Vila São João	-50.946	-28.517
28	Vacaria	Santana	-50.909	-28.514

Figura 11 - Localização dos postos pluviométricos telemétricos do CEMADEN instalados na região da bacia do Taquari-Antas no contexto do projeto “Pluviômetros Automáticos” e em operação em setembro de 2015.



Observa-se na Figura 11 que os postos pluviométricos na região da bacia do rio Taquari-Antas estão distribuídos de forma não homogênea, com agrupamentos de vários pluviômetros em torno de Passo Fundo, Lajeado/Estrela e Vacaria. Por outro lado, a rede de pluviômetros automáticos do CEMADEN traz algumas vantagens interessantes, como o monitoramento da parte baixa da bacia, localizada a jusante de Lajeado, com postos em Taquari, Mariante e Venâncio Aires. Além disso, a rede do CEMADEN conta com três postos pluviométricos na região de Caxias do Sul, e um posto pluviométrico localizado fora da bacia, na encosta da Serra Geral, próximo à cabeceira do rio Tainhas, no extremo leste da bacia.

É importante salientar que as condições de instalação dos pluviômetros do CEMADEN não são conhecidas. Também não existe certeza sobre a continuidade do projeto.

5.1.5. Pluviômetros telemétricos SMAD-RS

O SMAD RS é o Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres do Rio Grande do Sul. O SMAD-RS é um projeto do Departamento de Recursos Hídricos para monitoramento e alerta de desastres para a Defesa Civil e órgãos competentes na gestão de risco, e para monitoramento com vistas à gestão ambiental dos recursos naturais.

O SMAD-RS disponibiliza, atualmente, dados de 11 postos pluviométricos automáticos na região da bacia do rio Taquari-Antas, identificados na Tabela 3 e no mapa da Figura 11.

A maioria dos pluviômetros disponibilizados pelo SMAD referem-se à postos instalados pelas empresas que controlam as usinas hidrelétricas (PCHs e UHEs). A única exceção é o posto instalado no rio Forqueta, junto à Barra do Fão (último da lista apresentada na Tabela 3).

A rede de monitoramento disponibilizada pelo SMAD-RS (Figura 12), é, em grande parte, resultado do monitoramento que é realizado pelas empresas operadoras de usinas hidrelétricas como PCHs e CGHs, por imposição da resolução da ANA e da ANEEL. Por esse motivo os pluviômetros automáticos do SMAD-RS estão localizados próximos aos rios principais, como o Forqueta, o Carreiro, o Antas e o Tainhas. Esta localização é interessante do ponto de vista do desenvolvimento de um sistema de previsão e alerta de cheias, já que é complementar à localização dos postos pluviométricos das demais redes. Entretanto, as condições locais em que foram instalados estes postos pluviométricos não são conhecidas, e não é possível saber se as medições são acuradas nos locais escolhidos.

Tabela 3 - Pluviômetros do SMAD na região da bacia do rio Taquari-Antas.

Nome	Município	Longitude	Latitude
<u>PCH Passo do Meio Montante - Rio Tainhas</u>	SÃO FRANCISCO DE PAULA	-50.562	-28.864
<u>PCH Passo do Meio Jusante - Rio das Antas</u>	SÃO FRANCISCO DE PAULA	-50.621	-28.816
<u>PCH Serra dos Cavalinhos II Jusante</u>	MONTE ALEGRE DOS CAMPOS	-50.745	-28.787
<u>UHE Castro Alves</u>	NOVA PÁDUA	-51.324	-29.063
<u>UHE Monte Claro Balsa do Prata</u>	NOVA ROMA DO SUL	-51.461	-28.971
<u>PCH Caçador Ponte São Domingos</u>	SERAFINA CORRÊA	-51.869	-28.579
<u>PCH Caçador Montante - Rio Carreiro</u>	SERAFINA CORRÊA	-51.851	-28.701
<u>PCH Boa Fé - Rio Carreiro</u>	SERAFINA CORRÊA	-51.853	-28.712
<u>PCH Cotiporã Jusante - Rio Carreiro</u>	COTIPORÃ	-51.756	-28.972
<u>PCH Rastro de Auto Montante</u>	SÃO JOSÉ DO HERVAL	-52.222	-29.042
<u>Barra do Fão - Rio Forqueta</u>	TRAVESSEIRO	-52.162	-29.224

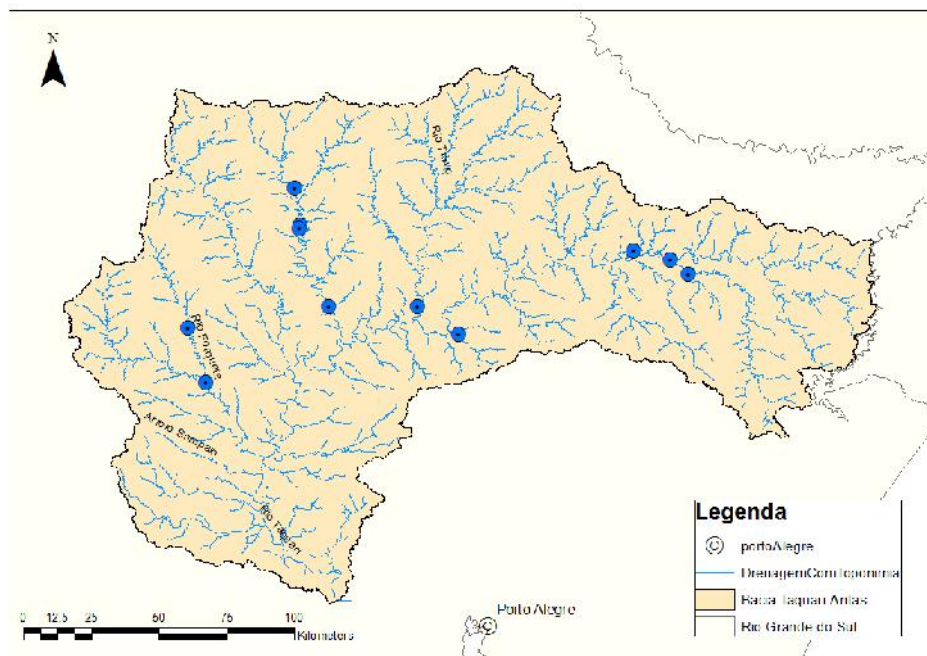
5.1.6. Monitoramento de radar na bacia do rio Taquari-Antas

Atualmente a bacia do Taquari-Antas não tem monitoramento de precipitação por radar. Entretanto, existem três radares localizados a distâncias consideráveis da bacia, cujo objetivo original é o

monitoramento de tráfego aéreo, que fornecem estimativas de precipitação através de um acordo com o INPE. O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) apresenta as estimativas de chuva obtidas por estes radares (<http://sigma.cptec.inpe.br/radar/>).

Os três radares localizados mais próximos da bacia do rio Taquari-Antas estão localizados em Urubici (SC), Santiago (RS) e Canguçu (RS). Seu alcance máximo, de acordo com a página Web do CPTEC é de 250 km. A esta distância é possível avaliar qualitativamente a ocorrência de chuva. Entretanto, o alcance para o qual é possível estimar quantitativamente a chuva é cerca da metade deste valor (125 km). A Figura 13 mostra a região monitorada pelos radares e a bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas. Observa-se que a bacia não está completamente coberta pelas imagens de radar, mesmo considerando a distância de 250 km. Quando considerada a distância de 125 km, para a qual as estimativas quantitativas poderiam ser mais confiáveis, apenas uma pequena parte da cabeceira da bacia está sendo monitorada pelo radar localizado no Morro da Igreja, no município de Urubici, em Santa Catarina.

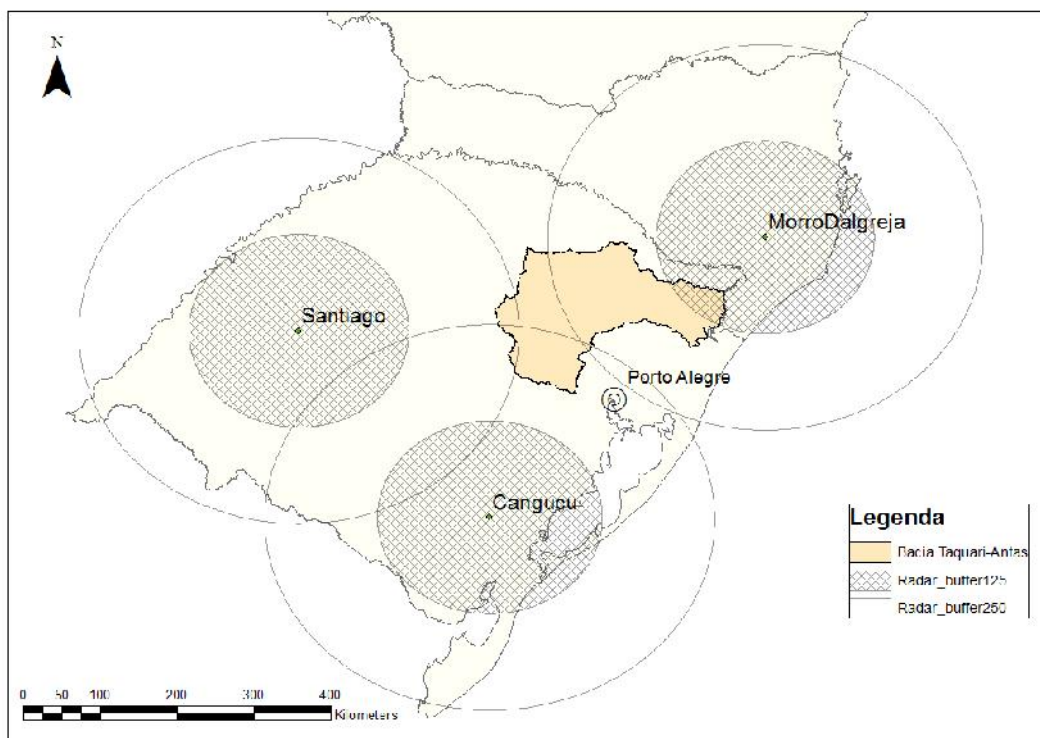
Figura 12 - Mapa de localização de pluviômetros automáticos disponibilizados pelo SMAD-RS.



Assim, o monitoramento de precipitação por radar na bacia do rio Taquari-Antas é insatisfatório, tanto porque os radares existentes não são originalmente instalados com o objetivo de monitoramento meteorológico, como porque o alcance destes radares não engloba a bacia do Taquari-Antas.

A instalação de um novo radar meteorológico nesta bacia poderia trazer benefícios em termos de redução de erros na previsão de cheias. Este radar poderia ser instalado em uma área próxima à cidade de Caxias do Sul, localizada no divisor de águas entre as bacias dos rios Taquari-Antas e Caí. Dessa forma o mesmo equipamento poderia auxiliar na estimativa de chuva das duas bacias, e contribuir com os sistemas de previsão de cheias destes dois rios.

Figura 13 - Localização dos radares mais próximos da bacia do rio Taquari-Antas e a área de alcance qualitativo (250 km) e quantitativo (125 km).



5.2. Rede de monitoramento fluviométrico

5.2.1. Rede fluviométrica da CPRM

A CPRM mantém uma rede de monitoramento fluviométrico com telemetria na bacia do Taquari-Antas, como parte do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) (Tabela 4).

Alguns dos postos fluviométricos telemétricos da CPRM dispõe de uma curva-chave que permite estimar a vazão a partir da medição da cota.

A localização dos postos fluviométricos da CPRM é apresentada no mapa da Figura 14. Entretanto, não estão mostradas as estações de Mariante e Taquari, que iniciaram as operações mais recentemente.

Tabela 4 - Postos fluviométricos telemétricos da CPRM na bacia do rio Taquari-Antas.

Nome	Rio	Curva-chave
Passo Tainhas	Tainhas	Sim
Santa Lúcia	Guaporé	Sim
Muçum	Taquari	Sim
Encantado	Taquari	Sim
Estrela	Taquari	Não
Mariante	Taquari	Não
Taquari	Taquari	Não

5.2.2. Rede fluviométrica do CERAN

O Complexo Hidrelétrico Rio das Antas (CERAN) opera três UHE's na bacia, onde existem medições de nível e estimativas de vazão total defluente. Estas informações são disponibilizadas em intervalo de tempo horário através de um serviço de FTP.

Os dados de vazão das usinas do CERAN foram utilizados no desenvolvimento do modelo de previsão do Sistema Experimental de Previsão de Cheias desenvolvido pelo IPH (Figura 15).

5.2.3. Rede fluviométrica da Univates

A UNIVATES mantém uma rede de monitoramento fluviométrico telemétrico com medição e transmissão de cota dos rios Taquari, Forqueta, e Antas, de acordo com a Tabela 5. A localização destes postos é apresentada no mapa da Figura 16.

Figura 14 - Mapa de localização das estações fluviométricas da CPRM com telemetria na bacia do rio Taquari-Antas (os postos de Taquari e Mariante não aparecem no mapa porque foram instalados mais recentemente).

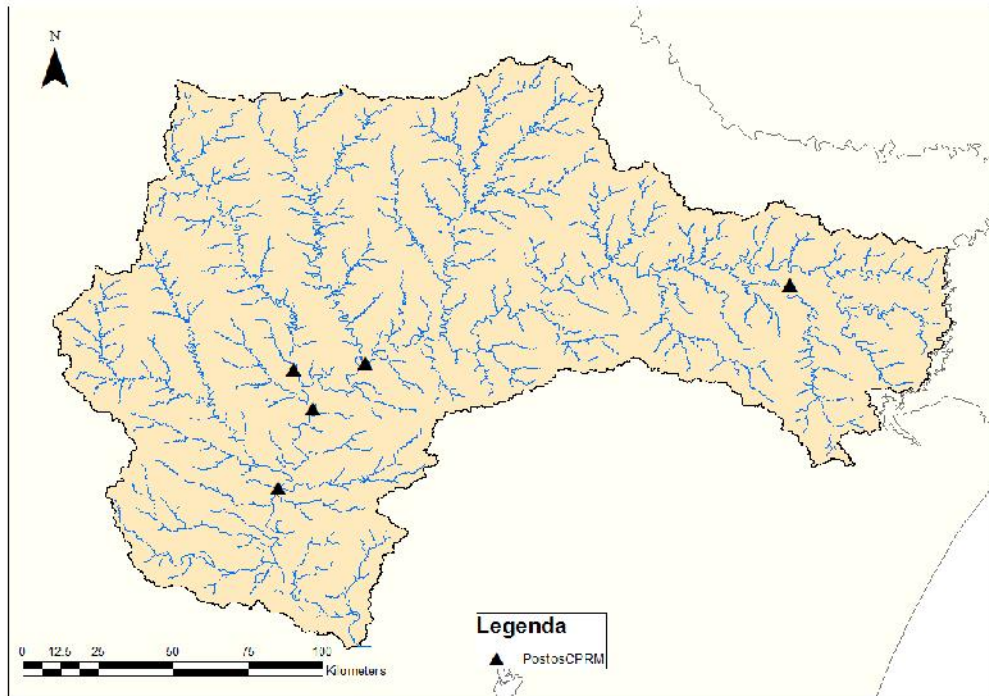


Figura 15 - Mapa de localização das usinas do CERAN.

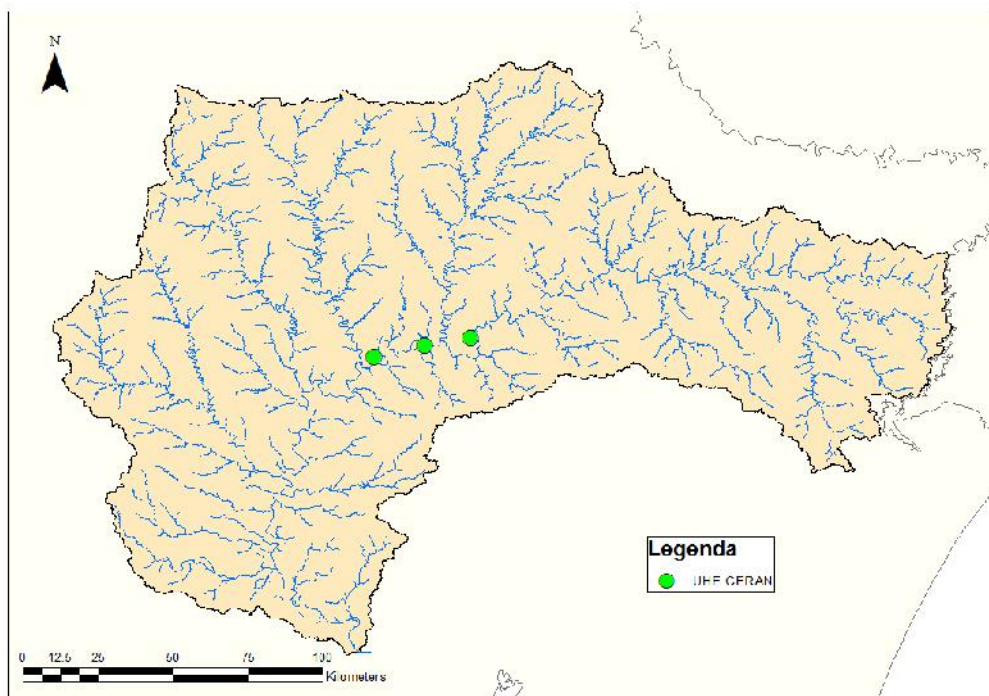
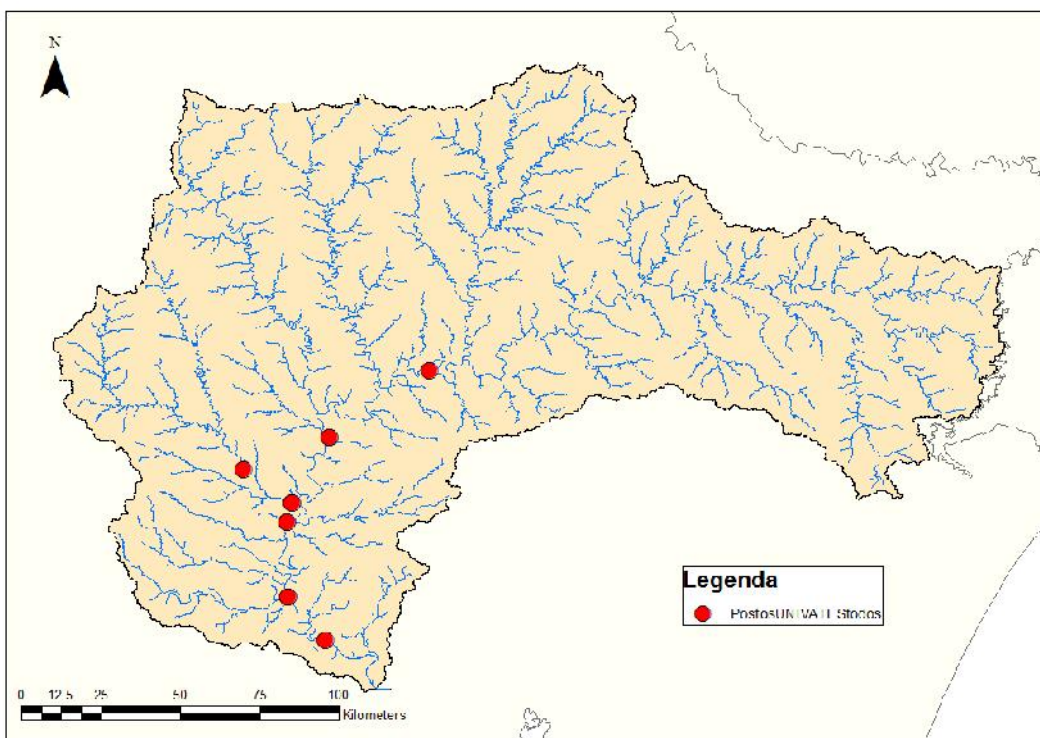


Tabela 5 - Postos fluviométricos telemétricos da UNIVATES.

Nome do Posto	Rio
Taquari	Taquari
Mariante	Taquari
Bom Retiro do Sul	Taquari
Estrela	Taquari
Encantado	Taquari
Marques de Souza	Forqueta

Figura 16 - Mapa de postos fluviométricos telemétricos da UNIVATES na bacia do rio Taquari-Antas.



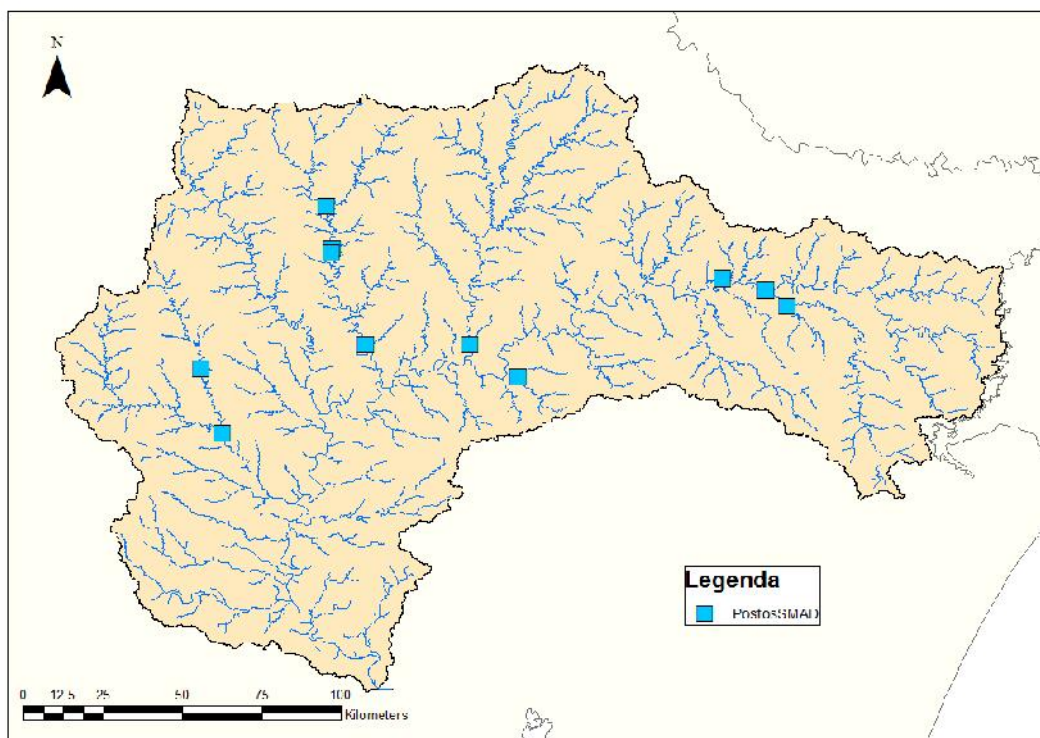
5.2.4. Rede fluviométrica do SMAD-RS

O SMAD-RS recebe atualmente os dados de postos fluviométricos automáticos de diversos locais da bacia do rio Taquari-Antas. A maior parte dos locais está próxima de aproveitamentos hidrelétricos na bacia, conforme a Tabela 6 e Figura 17.

Tabela 6 - Postos de monitoramento fluviométrico com dados disponibilizados pelo SMAD-RS.

Nome	Município	Longitude	Latitude
<u>PCH Passo do Meio Montante - Rio Tainhas</u>	SÃO FRANCISCO DE PAULA	-50.562	-28.864
<u>PCH Passo do Meio Jusante - Rio das Antas</u>	SÃO FRANCISCO DE PAULA	-50.621	-28.816
<u>PCH Serra dos Cavalinhos II Jusante</u>	MONTE ALEGRE DOS CAMPOS	-50.745	-28.787
<u>UHE Castro Alves</u>	NOVA PÁDUA	-51.324	-29.063
<u>UHE Monte Claro Balsa do Prata</u>	NOVA ROMA DO SUL	-51.461	-28.971
<u>PCH Caçador Ponte São Domingos</u>	SERAFINA CORRÊA	-51.869	-28.579
<u>PCH Caçador Montante - Rio Carreiro</u>	SERAFINA CORRÊA	-51.851	-28.701
<u>PCH Boa Fé - Rio Carreiro</u>	SERAFINA CORRÊA	-51.853	-28.712
<u>PCH Cotiporã Jusante - Rio Carreiro</u>	COTIPORÃ	-51.756	-28.972
<u>PCH Rastro de Auto Montante</u>	SÃO JOSÉ DO HERVAL	-52.222	-29.042
<u>Barra do Fão - Rio Forqueta</u>	TRAVESSEIRO	-52.162	-29.224

Figura 17 - Mapa de localização dos pontos de monitoramento fluviométrico disponibilizados através do SMAD-RS.



5.3. Diagnóstico da rede telemétrica de pluviometria sob o ponto de vista da previsão de cheias

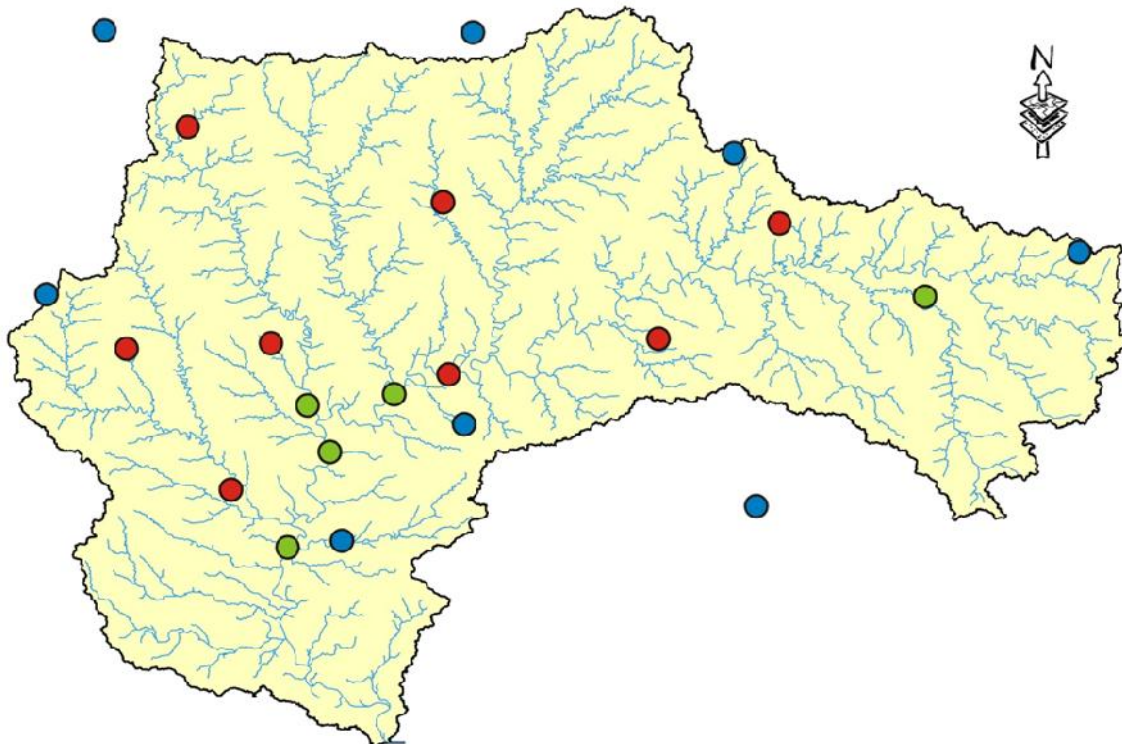
A rede pluviométrica automática com telemetria atualmente existente na bacia do rio Taquari-Antas inclui postos pluviométricos do INMET, da CPRM, da UNIVATES, do SMAD-RS e do CEMADEN.

Ao longo do período em que foi operado pelo IPH-UFRGS o Sistema Experimental de Previsão de Cheias, foram utilizados os dados do INMET, da CPRM e da UNIVATES. Destes três grupos, a rede do

INMET é que se mostrou mais confiável, em termos da ausência de falhas de leitura e transmissão dos dados. A rede da CPRM também permaneceu operativa na maior parte do tempo, com exceção do posto pluviométrico na bacia do rio Tainhas, que apresentou falhas na maior parte do tempo. A rede da UNIVATES apresentou falhas em grande parte do tempo.

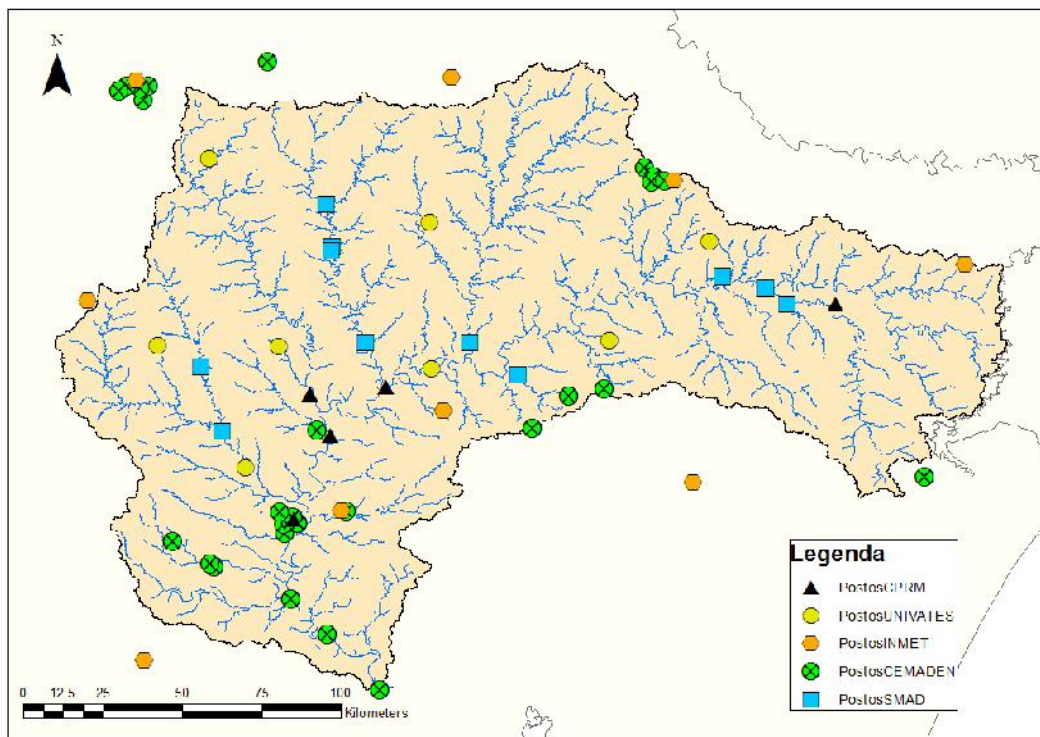
Considerando apenas os pluviômetros do INMET, CPRM e UNIVATES a rede de monitoramento pluviométrico com telemetria existente na bacia é apresentada na Figura 18. Observa-se que existem grandes vazios no mapa, sem monitoramento adequado. Este é o caso de toda a bacia do rio Carreiro e de grande parte da bacia do rio da Prata, que são fundamentais para a formação das cheias no rio Taquari-Antas. Além disso, toda a bacia do rio Lajeado Grande e boa parte da bacia do rio Tainhas não é monitorada.

Figura 18 - Localização dos pluviômetros automáticos de três entidades (Univates, CPRM, INMET) na bacia do rio Taquari-Antas.



Considerando os pluviômetros do INMET, CPRM, UNIVATES, SMAD-RS e CEMADEN a rede de monitoramento pluviométrico com telemetria existente na bacia é apresentada na Figura 19.

Figura 19 - Rede pluviométrica com telemetria operando atualmente (2015) na bacia do rio Taquari-Antas, incluindo postos do INMET, CPRM, UNIVATES, SMAD-RS e CEMADEN.



Observa-se, na Figura 19, que os postos pluviométricos do CEMADEN contribuem para um melhor monitoramento na parte baixa da bacia, especialmente da região de Lajeado e Estrela para jusante. Além disso, os postos do CEMADEN melhoram o monitoramento na região de Caxias do Sul. Finalmente, um posto do CEMADEN localizado fora da bacia, no município de Itati (a leste da bacia), pode auxiliar no monitoramento da chuva na cabeceira do rio Tainhas. Os demais postos pluviométricos do CEMADEN estão localizados em regiões já monitoradas por outros órgãos, como é o caso de Passo Fundo, Encantado e Vacaria.

Os pluviômetros adicionais do SMAD-RS, que aparecem em azul no mapa da Figura 19, por outro lado, contribuem para melhorar o monitoramento da bacia com fins de previsão de cheias, especialmente pela presença de postos nas bacias dos rios Carreiro e Forqueta.

Entretanto, Figura 19 mostra que ainda persistem zonas de monitoramento deficientes na bacia. A bacia do rio Lajeado Grande não tem postos pluviométricos, e a bacia do rio da Prata apresenta grandes espaços vazios, sem postos pluviométricos. Além disso, a região dos rios Camisas e Santana (na porção Leste da bacia) também têm monitoramento deficiente. Algumas partes das bacias dos rios Guaporé e Forqueta

também poderiam ter um aumento de densidade de postos pluviométricos, em função da rapidez com que estes rios contribuem para a formação de cheias no rio principal.

5.4. Diagnóstico da rede telemétrica de fluviometria sob o ponto de vista da previsão de cheias

A rede fluviométrica telemétrica na bacia do rio Taquari-Antas atualmente inclui postos mantidos e operados pela CPRM, e pela UNIVATES. Além disso, a CERAN disponibiliza dados de vazões defluentes das suas usinas hidrelétricas. Estes dados foram utilizados já no contexto do Sistema de Experimental de Previsão de Cheias desenvolvido no IPH-UFRGS.

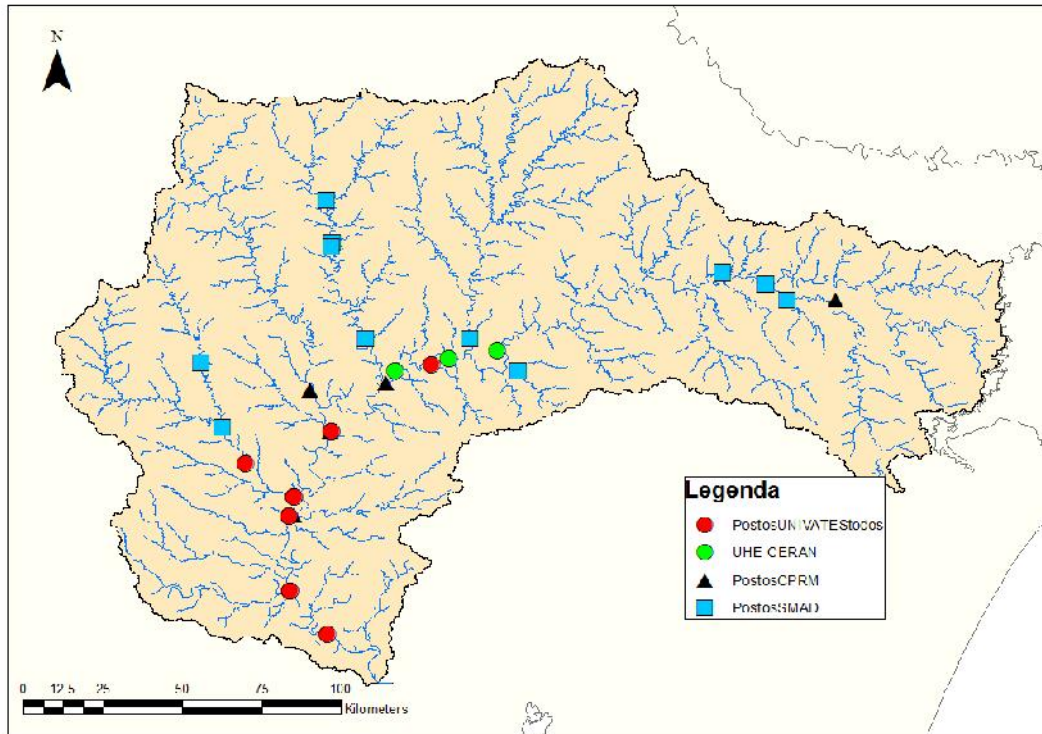
Adicionalmente, estão sendo disponibilizados agora no sistema do SMAD-RS, os dados de mais postos fluviométricos de outros aproveitamentos hidrelétricos, além de um posto fluviométrico localizado numa seção do rio Forqueta próximo à confluência com o rio Fão.

A rede total de monitoramento, incluindo os postos da CPRM, UNIVATES, CERAN e SMAD-RS é apresentada na Figura 20.

Observa-se que a rede atual de monitoramento fluviométrico não tem nenhum posto fluviométrico no rio Lajeado Grande. Além disso, a bacia do rio da Prata tem apenas um posto fluviométrico, localizado próximo à foz. O mesmo acontece com a bacia do rio Guaporé.

Portanto, a rede de monitoramento fluviométrico com telemetria atual apresenta carências nos rios da Prata, Guaporé e Lajeado Grande.

Figura 20 - Mapa de localização dos postos fluviométricos telemétricos atualmente instalados na bacia do rio Taquari-Antas.



6. PROPOSTA DE COMPLEMENTAÇÃO DA REDE TELEMÉTRICA DA BACIA DO RIO TAQUARI-ANTAS

A proposta de complementação da rede telemétrica da bacia do rio Taquari-Antas sugere três fases de intensificação do monitoramento pluviométrico e uma fase de intensificação de monitoramento fluviométrico.

Na primeira fase de intensificação do monitoramento pluviométrico sugere-se a instalação de 13 novos postos pluviométricos telemétricos em locais estratégicos para suprir carências identificadas no diagnóstico. Esta fase é considerada prioritária.

Na segunda fase de intensificação do monitoramento pluviométrico sugere-se a instalação de postos pluviométricos telemétricos em todos os aproveitamentos hidrelétricos da bacia, sejam eles CGHs, PCHs ou UHEs.

Finalmente, na terceira fase de intensificação do monitoramento pluviométrico, sugere-se a instalação e operação de um posto pluviométrico telemétrico em cada sede de município da bacia hidrográfica.

6.1. Proposição de novos postos telemétricos de precipitação

A proposição de melhorias da rede telemétrica foi feita considerando um cenário em que todas as entidades (INMET, CPRM, UNIVATES, SMAD-RS e CEMADEN) vão continuar a monitorar e vão disponibilizar seus dados em tempo real para o sistema de previsão de cheias em tempo real do rio Taquari-Antas.

Neste sentido, a proposição de novos locais para implementação de postos pluviométricos automáticos procurou reduzir as lacunas identificadas no diagnóstico, especialmente nas bacias dos rios Lajeado Grande, Prata, Camisas e Santana.

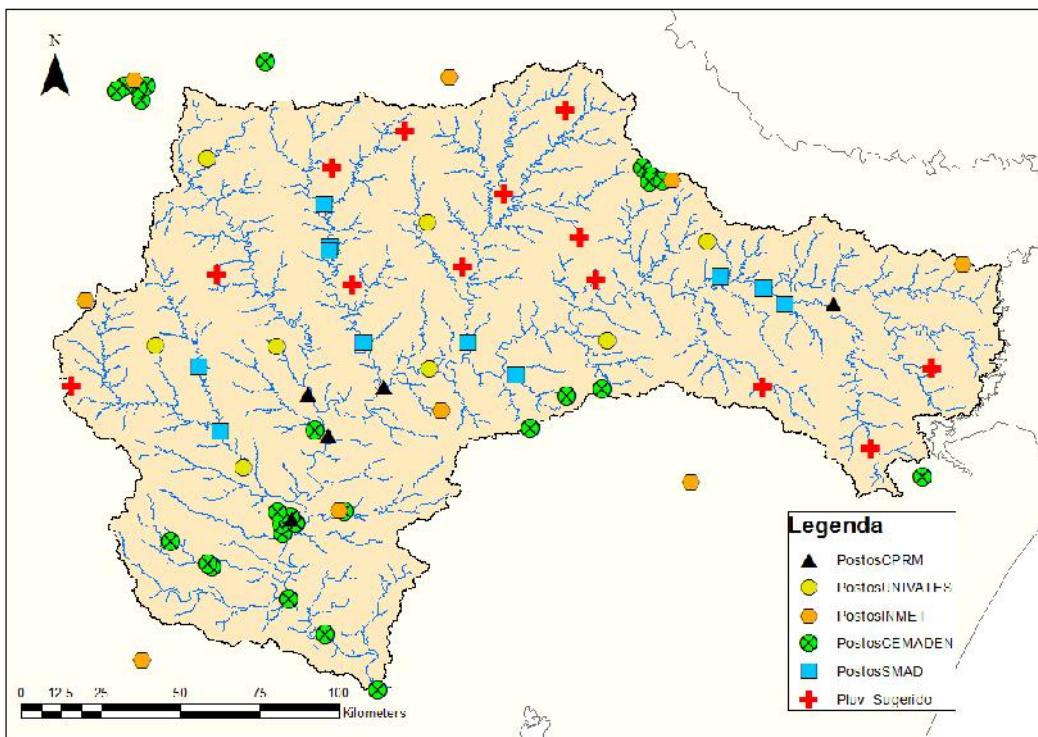
Sugere-se aqui a instalação e operação de 13 novos postos pluviométricos automáticos, de acordo com a Tabela 7. A localização dos postos sugeridos em relação à rede atualmente existente pode ser observada na Figura 21.

Destes 13 postos pluviométricos, 9 estão localizados em sedes de municípios da bacia, o que facilita o acesso e questões logísticas de manutenção e fornecimento de energia, se necessário. Os outros 4 postos pluviométricos sugeridos estão localizados em pontos de acesso relativamente fácil, próximos de estradas ou em pequenos centros de distritos de municípios.

Tabela 7 - Lista de sugestão de localização de novos postos pluviométricos telemétricos a serem instalados na bacia do rio Taquari-Antas.

Número	Nome	Município	Longitude	Latitude
1	Itapuca	Itapuca	-52.172	-28.779
2	Muitos Capoes	Muitos Capoes	-51.184	-28.313
3	Cambara do Sul	Cambara do Sul	-50.147	-29.047
4	Barros Cassal	Barros Cassal	-52.584	-29.095
5	Vista Alegre do Prata	Vista Alegre do Prata	-51.788	-28.808
6	Protásio Alves	Protásio Alves	-51.476	-28.759
7	Campestre da Serra	Campestre da Serra	-51.096	-28.795
8	Vanini	Vanini	-51.845	-28.476
9	Ibiraiaras	Ibiraiaras	-51.638	-28.374
10	Ituim	Muitos Capões	-51.357	-28.550
11	Tainhas	São Francisco de Paula	-50.320	-29.272
12	Capela Santa Rita	Campestre da Serra	-51.142	-28.673
13	Lajeado Grande	São Francisco de Paula	-50.626	-29.097

Figura 21 - Mapa de postos pluviométricos telemétricos existentes na bacia e dos postos pluviométricos adicionais sugeridos (cruz vermelha) na bacia do rio Taquari-Antas.



Considerando o monitoramento pluviométrico ilustrado na Figura 15, a densidade de postos pluviométricos telemétricos na bacia do rio Taquari-Antas seria de 1 posto para cada 500 km², aproximadamente.

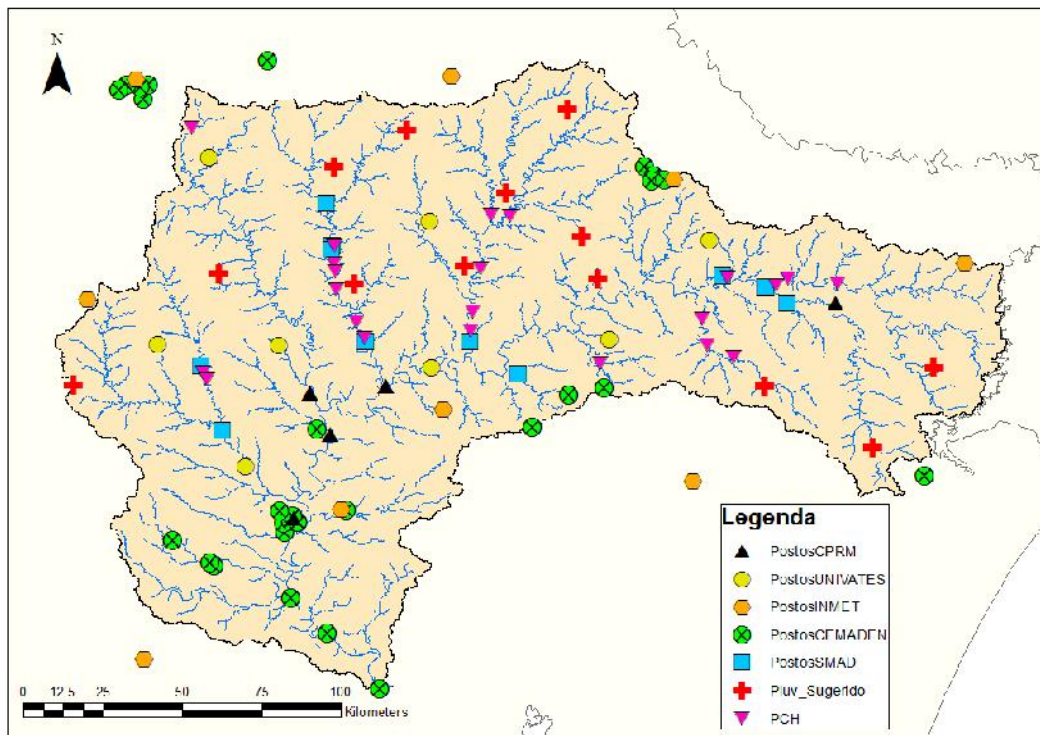
6.2. Proposição de postos telemétricos de precipitação nos demais aproveitamentos hidrelétricos

Numa segunda etapa de intensificação do monitoramento pluviométrico automático na bacia do Taquari-Antas, recomenda-se que todos os aproveitamentos hidrelétricos (PCHs, CGHs, e UHEs tenham pelo menos um posto pluviométrico telemétrico que pode ser instalado próximo à barragem, ou próximo à usina.

Neste caso, o mapa de monitoramento pluviométrico automático na bacia do rio Taquari-Antas seria como ilustrado na Figura 22. Observa-se que a inclusão de pluviômetros em todos os aproveitamentos hidrelétricos permite melhorar o monitoramento na bacia do rio da Prata e na bacia do rio Lajeado Grande.

Acrescentando ao sistema de monitoramento existente os 13 novos postos sugeridos e os postos pluviométricos telemétricos em todos os aproveitamentos hidrelétricos a densidade de postos na bacia do rio Taquari-Antas chegaria a, aproximadamente, 1 posto a cada 370 km².

Figura 22 - Mapa de postos pluviométricos telemétricos existentes na bacia, dos postos pluviométricos adicionais sugeridos (cruz vermelha), e de postos adicionais em aproveitamentos hidrelétricos na bacia do rio Taquari-Antas.



6.3. Proposição de postos telemétricos de precipitação em todas as sedes de municípios

Numa terceira etapa de intensificação do monitoramento pluviométrico automático na bacia do rio Taquari-Antas, recomenda-se que todas as sedes de município recebam um posto pluviométrico telemétrico. A Figura 23 ilustra a rede de monitoramento pluviométrico telemétrico que existiria na bacia neste caso. A porção leste da bacia não teria um grande incremento de monitoramento, apesar dos novos postos nas sedes dos municípios de Jaquirana e Bom Jesus. Por outro lado, as bacias dos rios Carreiro e Guaporé teria seu monitoramento intensificado e toda a porção Oeste da bacia teria um monitoramento com densidade comparável aos sistemas de previsão de cheias da Europa (cerca de 1 posto a cada 150 km²).

6.4. Proposição de intensificação do monitoramento de vazão e nível

Para melhorar o monitoramento de escoamento nos rios da bacia do Taquari-Antas, com o objetivo de melhorar a capacidade de prever cheias na zona mais vulnerável da bacia, que inicia em Muçum e Encantado, sugere-se que seja instalado em cada aproveitamento hidrelétrico em operação na bacia um

equipamento automático e telemétrico de medição de nível da água. Este equipamento deve ser instalado a montante da barragem.

Considerando que a maior parte dos aproveitamentos hidrelétricos na bacia é de pequeno porte, e opera com vertedores sem comportas, o monitoramento de nível a montante da barragem (se instalado corretamente) permitirá a estimativa da vazão que está sendo vertida.

Cada aproveitamento hidrelétrico deveria informar, adicionalmente, a vazão que está sendo turbinada a cada intervalo de tempo (1 hora ou menos).

Assim, a rede de monitoramento de vazão na bacia seria rapidamente aumentada, sem a necessidade imediata de instalação de novos postos fluviométricos e novas elaborações de curvas-chave. A Figura 24 apresenta o mapa de monitoramento fluviométrico que seria obtido seguindo esta proposta.

Figura 23 - Mapa de monitoramento pluviométrico hipotético na bacia do rio Taquari-Antas considerando os postos existentes atualmente (CEMADEN, UNIVATES, CPRM, INMET, SMAD-RS), postos pluviométricos adicionais sugeridos (cruz vermelha), postos adicionais em aproveitamentos hidrelétricos e postos adicionais em cada sede de município da bacia.

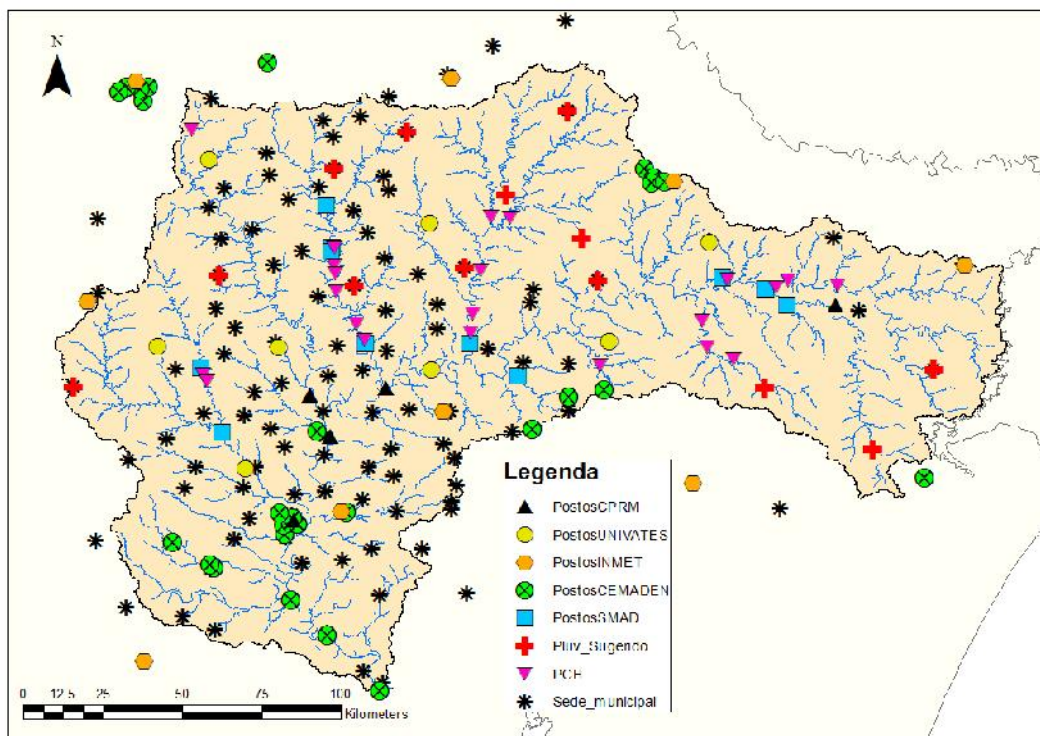
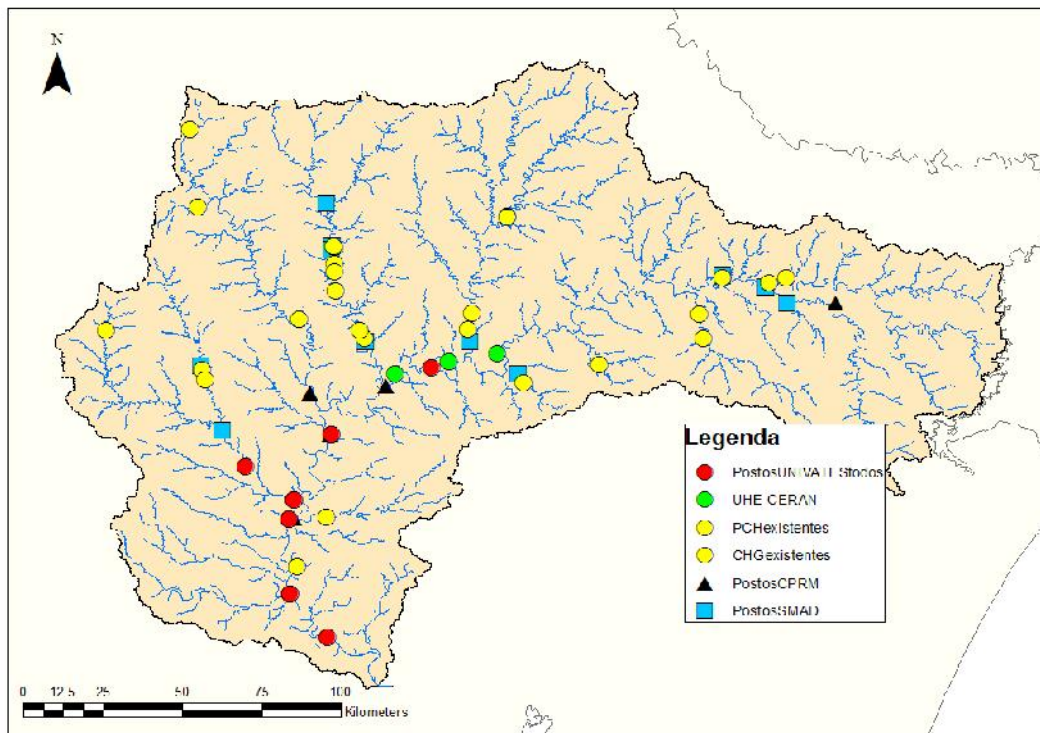


Figura 24 - Postos do monitoramento fluviométrico com telemetria considerando o monitoramento atual e a proposta de instalação e operação de monitoramento em todos os aproveitamentos hidrelétricos atualmente existentes na bacia.



7. CONCLUSÕES

A rede de monitoramento telemétrico de chuva e vazão (ou nível) na bacia do rio Taquari-Antas apresenta um número muito pequeno de postos considerando o objetivo de realizar previsões de cheias para alerta. A densidade de postos pluviométricos é muito inferior à densidade atualmente utilizada em sistemas de previsão de cheias operacionais em outros países.

As maiores carências de monitoramento de chuva ocorrem na bacia do rio da Prata, na cabeceira dos primeiros afluentes do rio das Antas (Santana, Camisas e Tainhas) e no rio Lajeado Grande.

As maiores carências de monitoramento de nível e ou vazão estão nas bacias dos rios da Prata, Guaporé e Lajeado Grande.

Sugere-se reduzir a carência de dados pluviométricos telemétricos gradativamente em três etapas.

Na primeira etapa sugere-se a instalação de 13 novos postos pluviométricos telemétricos em locais estratégicos para complementar a rede atual. Estes locais foram escolhidos de forma a reduzir carências de monitoramento. Sua localização também foi definida de forma a facilitar os trabalhos de manutenção

e operação, dando preferência a locais com acesso relativamente fácil, como sedes de municípios e pequenos centros de ocupação urbana.

Na segunda etapa sugere-se a instalação de postos pluviométricos em todos os aproveitamentos hidrelétricos da bacia. Esta sugestão ocorre porque há um grande número de aproveitamentos na bacia, que estão razoavelmente bem distribuídos. A instalação de postos pluviométricos telemétricos em locais próximos aos aproveitamentos hidrelétricos normalmente também facilita certos aspectos de logística e minimiza problemas de vandalismo nas estações.

Finalmente, numa terceira etapa, sugere-se a instalação de um posto pluviométrico automático em cada sede de município da bacia. Quando esta etapa for cumprida, pelo menos parte da bacia terá uma densidade de postos pluviométricos compatível com a densidade atualmente utilizada em sistemas de previsão de cheias da Europa e dos Estados Unidos.

Para reduzir a carência de dados fluviométricos telemétricos sugere-se a instalação e operação de postos fluviométricos em todos os aproveitamentos hidrelétricos da bacia. Alguns destes aproveitamentos, como é o caso do CERAN, já disponibilizam estes dados. Outros estão iniciando a disponibilização de dados através do SMAD-RS. O monitoramento fluviométrico em aproveitamentos hidrelétricos tem vantagens do ponto de vista logístico, já que estes locais contam com estradas de acesso, energia elétrica e são áreas menos sujeitas ao vandalismo. Além disso, o monitoramento de cotas a montante de barragens que contam com vertedores livres, como a maior parte dos aproveitamentos da bacia, tem a vantagem de facilitar a estimativa da vazão.

Além disso, sugere-se que os postos fluviométricos e pluviométricos atualmente existentes sejam mantidos em operação e que a recepção da informação seja centralizada em um órgão competente para tal função. Também é fundamental avaliar as condições de instalação de cada um dos equipamentos de forma a verificar se os dados podem ser considerados confiáveis para a utilização em um sistema de previsão de cheias.

REFERÊNCIAS

- ANA (2011) Especificações Técnicas - Plataformas de Coletas de Dados – PCDs / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Brasília: ANA, SGH, 2011.
- ANDREOLLI, I.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Análise da rede de postos de chuva na previsão em tempo real na bacia do rio Uruguai. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 11, p. 5-14, 2006.
- ANDREOLLI, I. Previsão de Vazão em Tempo Real no Rio Uruguai com Base na Previsão Meteorológica. Porto Alegre: UFRGS. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisa Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.
- BARBETTA, S.; BROCCA, L.; MELONE, F.; MORAMARCO, T. 2009. Monitoring network optimization for flood forecasting and warning purposes. Conference: Water, Environment, Energy and Society, Proc. of WEES-2009, At New Delhi, Volume: 770-779
- BOTH, G. C.; HAETINGER, C.; FERREIRA, E. R.; DIEDRICH, V. L.; AZAMBUJA, J. L. F. 2008 Uso da modelagem matemática para a previsão de enchentes no Vale do Taquari – RS. Anais do VI Simpósio de Engenharia Ambiental, Serra Negra/SP, 2008.
- BRAGA, S. M., FERNANDES, V. S. (2007). Performance de Sensores de Precipitação do Tipo “Tipping Bucket” (Báscula) – Um Alerta para Ocorrência de Erros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, pp-197-204, vol. 12 n.1.
- CHAGAS, A.; CASTILHO, A. S.; PEDROLLO, M.; GERMANO, A.; SOTERIO, P. 2014 THE WARNING FLOOD SYSTEM IN TAQUARI RIVER BASIN. International Conference on Flood Management. São Paulo. ICFM6.
- CHENG, K.S.; LIN, Y.-C.; LIOU, J. J. 2007 Rain-gauge network evaluation and augmentation using geostatistics. *Hydrol. Process.* DOI: 10.1002/hyp.6851.
- CLARKE, R. T; DIAS, P. L. S. As necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros quanto aos recursos hídricos. Secretaria Técnica do Fundo Setorial de Recursos Hídricos, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/ct_hidro/documentos/ct-hidro01obs_e_monit_amb_rh.pdf Nov, 2002.
- DEFRA 2003 Flood Forecasting: Rainfall Measurement and Forecasting - R&D Technical Report W5C-013/4/TR. Department for Environmental, Food and Rural Affairs – Environment Agency. UK. 153pp.
- DONG, X., DOHMEN-JANSSEN, C. M., AND BOOIJ, M. J.: Appropriate Spatial Sampling of Rainfall for Flow Simulation, *Hydrol. Sci. J.*, 50(2), 279–297, 2005.
- DOUMONIA, A.; GOSSET, M.; CAZENAVE, F.; KACOU, M.; ZOUGMORE, F. 2014 Rainfall monitoring based on microwave links from cellular telecommunication networks: First results from a West African test bed. *Geophysical Research Letters*, Volume 41, Issue 16 pp. 6016–6022.
- EAGLESON P.S. (1967). Optimal density of rainfall networks. *Water Resources Research* (3 [4]), pp. 1021-1034.
- ECHKARDT, R. R. (2008) Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado / RS. Dissertação de Mestrado. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 116 p.
- FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. ; QUIROZ, K. ; SORRIBAS, M. V. ; BUARQUE, D. C. ; SIQUEIRA, V. A. 2015 Flood forecasting on the Tocantins River using ensemble rainfall forecasts

- and real-time satellite rainfall estimates. *Journal of Flood Risk Management*, DOI: 10.1111/jfr3.12177.
- GIRONS LOPEZ, M., WENNERSTRÖM, H., NORDÉN, L.-Å.; SEIBERT, J., 2015. Location and density of rain gauges for the estimation of spatial varying precipitation. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 97, 167–179. doi:10.1111/geoa.12094.
- HINGRAY, B.; PICOUET, C.; MUSY, A. 2014 *HYDROLOGY – A science for engineers*. CRC press.
- LI, C., SINGH, V., AND MISHRA, A.: Entropy theory-based criterion for hydrometric network evaluation and design: maximum information minimum redundancy, *Water Resour. Res.*, 8, W05521, doi: 10.1029/2011WR011251.
- MISHRA, A.K., COULIBALY, P., 2009. Developments in hydrometric network design: a review. *Rev. Geophys.* 47, RG2001. doi:10.1029/2007RG000243.
- MOSS M.E. 1982 Concepts and techniques in hydrological network design. *Operational Hydrology Report (19)*, World Meteorological organization report (580). Geneva, Switzerland.
- O'CONNELL, P. E; CLARKE, R. T. Adaptive hydrological forecasting – a review. *Hydrological Sciences – Bulletin – des Sciences Hydrologiques*, v. 26, n. 2, p. 175-205, jun. 1981.
- OVEREEM, A., LEIJNSE, H., AND UIJLENHOET, R. 2013 Country-wide rainfall maps from cellular communication networks, *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 110, 2741–2745.
- RODRIGUEZ-ITURBE I.; MEJIA J. 1974. The design of rainfall networks in time and space. *Water Resources Research*, vol. 10(4), pp. 713-728.
- SIQUEIRA, V. A. (2015) Previsão de cheias por conjunto em curto a médio prazo: bacia do Taquari-Antas/RS. Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 157 p.
- TUCCI C. E. M; CLARKE, R. T. Adaptive forecasting with a conceptual rainfall-runoff model. *IAHS*. p. 455-454, 1980.
- TUCCI, C. E. M. (2005) Gestão de inundações urbanas. Ministério das Cidades. *Global Water Partnership*. World Bank. Unesco, 269 p.
- VILLENEUVE J.P., MORIN G., BOBEE B., LEBLANC D. AND DELHOMME J.P. (1979). Kriging in the design of streamflow sampling networks. *Water Resources Research* (15 [6]), pp. 1833-1840.
- WMO, 2008 *Guide to Hydrological Practices Volume I Hydrology – From Measurement to Hydrological Information*. WMO Publication No. 168.
- WMO, 2011 *Manual on Flood Forecasting and Warning*. Meteorological Organization. WMO Publication No. 1072., 2011, 142 p.
- WOOD, E. F; O'CONNELL, E.. Real-time forecasting. In Anderson, M. G; Burt, T. P. *Hydrological Forecasting*, ed 1985. John Wiley & Sons, New York..
- XU, H., XU, C.-Y., CHEN, H., ZHANG, Z. AND LI, L., 2013 Assessing the influence of rain gauge density and distribution on hydrological model performance in a humid region of China. *Journal of Hydrology*, 505, 1–12. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.09.004