

Revisão e consolidação da série histórica dos níveis das cheias do rio Taquari em Lajeado de 1939 a 2023

Sofia Royer Moraes

Walter Collischonn

Franco Turco Buffon

Rafael Rodrigo Eckhardt

Porto Alegre

2024

Apresentação

Este trabalho técnico, elaborado na forma de um parecer ou nota técnica, apresenta uma análise da consistência entre as observações sistemáticas e as marcas físicas das cheias do rio Taquari na cidade de Lajeado. A motivação para a realização do trabalho foi a constatação, durante a grande cheia do rio Taquari em setembro de 2023, da existência de contradições entre as observações sistemáticas, baseadas em dados de postos fluviométricos, com as observações não sistemáticas, baseadas nas marcas físicas das inundações. Estas contradições ficaram mais evidentes pela comparação da recente cheia de setembro de 2023 com a maior cheia até então registrada no local, ocorrida em maio de 1941. Como resultado principal do trabalho, o parecer apresenta uma série consolidada e consistida de cotas máximas anuais do rio Taquari em Lajeado em todos os anos, no período de 1939 a 2023. Além disso, o parecer traz a conclusão inequívoca de que a cheia de setembro de 2023 superou a cheia de maio de 1941 na cidade de Lajeado. O parecer contou com contribuições de pesquisadores da UFRGS, UNIVATES e do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Autores

Sofia Royer Moraes

Engenheira Ambiental UNIVATES; Mestre em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento – UFRGS
Doutoranda em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH/UFRGS
Professora dos cursos de Engenharia Ambiental e Engenharia Civil – UNIVATES
E-mail: sofiaroyermoraes@gmail.com

Walter Collischonn

Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
Professor titular de Hidrologia nos cursos de Engenharia Ambiental e Engenharia Hídrica - UFRGS
E-mail: collischonn@iph.ufrgs.br

Franco Turco Buffon

Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - UFRGS
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial na Regional de Porto Alegre do Serviço Geológico do Brasil
E-mail: franco.buffon@sgb.gov.br

Rafael Rodrigo Eckhardt

Mestre em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto – UFRGS
Professor dos cursos de Engenharia Ambiental e Ciências Biológicas – UNIVATES
E-mail: rafare@univates.br

Como citar

MORAES, Sofia Royer; COLLISCHONN, Walter; BUFFON, Franco Turco; ECKHARDT, Rafael Rodrigo. Revisão e consolidação da série histórica dos níveis das cheias do rio Taquari em Lajeado de 1939 a 2023. Porto Alegre, 2024. Nota técnica. Disponível em: www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=001199403&loc=2024&l=7818d897802ef3c6.

Sumário

1 Introdução	5
2 Metodologia	6
3 Análise das marcas históricas das inundações em Lajeado	11
3.1 Marcas das inundações no CEAT	11
3.2 Comparação direta do nível máximo das inundações de 2023 com marcas históricas em Lajeado	15
4 Avaliação dos dados do antigo posto fluviométrico Lajeado	17
5 Avaliação da série de dados do Porto Fluvial de Estrela	21
5.1 Extensão da série histórica de cotas máximas do Porto Fluvial de Estrela para o passado e a origem do nível de 29,92 metros para a cheia de 1941	25
6 Avaliação dos dados do atual posto fluviométrico 86879300	26
7 Análise de consistência entre as medições sistemáticas e as marcas históricas das inundações	28
7.1 Análise de consistência entre os dados do antigo posto fluviométrico 86870000 e as marcas históricas das inundações	29
7.2 Análise de consistência entre os dados do Porto Fluvial de Estrela e do posto fluviométrico 86879300 com as marcas históricas das inundações.....	31
8 Série histórica consistida das cotas máximas anuais das cheias registradas em Lajeado de 1940 a 2023	33
9 Série histórica consolidada dos níveis das enchentes acima de 17 metros	38
10 Conclusões	45
Referências	47

Resumo

Nesta nota técnica analisamos a consistência entre as observações sistemáticas e as marcas físicas das cheias na cidade de Lajeado e geramos uma série de cotas máximas de cheias consistente ao longo do tempo. Inicialmente encontramos os valores mais plausíveis da altitude ortométrica do zero das réguas em que foram realizadas as medições em cada ano, com apoio de informações coletadas em relatórios técnicos e comparação entre medições sistemáticas e marcas de cheias. Num segundo passo, geramos a série de níveis máximos anuais de 1939 a 2023 e apresentamos esta série, tanto em termos da altitude ortométrica do nível da água máximo em cada ano, como em termos da cota equivalente na régua do posto fluviométrico que está em operação, atualmente, no rio Taquari em Lajeado. Com base nos resultados das análises concluímos que a cheia de Setembro de 2023 superou a grande cheia de Maio de 1941, por cerca de 51 cm, de acordo com observações de marcas históricas, ou cerca de 66 cm, de acordo com dados de monitoramento sistemático. A cheia de setembro de 2023 é, portanto, sem dúvida nenhuma, a maior cheia ocorrida no rio Taquari em Lajeado nos últimos 84 anos, desde o início do monitoramento sistemático, em 1939. Considerando válidas e representativas as marcas históricas das inundações fixadas no pilar do prédio do Colégio Evangélico Alberto Torres (CEAT), é muito provável que a cheia de setembro de 2023 seja a maior ocorrida no rio Taquari desde, pelo menos, 1873. Finalmente, não é improvável que a cheia de setembro de 2023 seja a maior já ocorrida em Lajeado, desde o início da colonização europeia na região, na segunda metade do século XIX.

1 Introdução

A inundação de áreas urbanas e habitadas nas margens dos grandes rios têm impactos na sociedade, com perdas de vidas, danos   infraestrutura e às propriedades, além de prejuízos materiais e psicológicos (MERZ et al., 2021; WILLNER et al., 2018).

Para lidar de forma adequada com o problema e os desafios das inunda es, um requisito importante   manter um histórico longo e representativo dos eventos ocorridos no passado. Numa situa o ideal, em uma cidade sujeita a inunda es ribeirinhas, esses registros seriam obtidos em um posto fluviométrico instalado no local, com medi es sistemáticas ao longo de várias décadas. Extensas séries de dados de medi es sistemáticas, em um mesmo ponto de um rio, permitem a realiza o de análises estatísticas que, por sua vez, tornam possível uma avalia o de riscos associados com as inunda es (TUCCI, 2001; NAGHETTINI E PINTO, 2007). Entretanto, este tipo de conjunto de dados nem sempre está disponível, especialmente no Brasil, como consequência da descontinuidade das iniciativas de monitoramento, da extin o ou substitui o dos órgãos públicos responsáveis pelas medi es hidrometeorológicas e pelas altera es do próprio sistema fluvial.

Em muitos locais as séries históricas de medi es são fragmentadas, com a cria o e extin o de pontos de monitoramento sistemático, resultando em períodos do passado para os quais não há dados. Em outros casos, as medi es do passado podem ter sido realizadas na mesma região, mas não exatamente no local de interesse, tornando difícil a elabora o e análise de uma série de dados que possa ser considerada homogênea e consistente.

Nestes locais em que o monitoramento sistemático   curto, ou fragmentado, uma fonte adicional de dados que pode ser considerada na análise são os registros não-sistemáticos, como as marcas de cheia registradas espontaneamente por moradores de uma cidade. Estas marcas podem ser pintadas em paredes, esculpidas em baixo relevo em rochas naturais da margem do rio, ou registradas como placas fixadas em pontes ou estruturas antigas na área inundada (B SMEIER et al., 2022). Estas marcas podem ser consideradas como oriundas de um monitoramento não sistemático.

Este   o caso das cidades de Lajeado e Estrela, localizadas no Rio Grande do Sul, na margem direita e esquerda do rio Taquari, e que convivem, historicamente, com inunda es causadas por este rio, desde o período inicial da coloniza o, em meados do século XIX (HOPPE, 2022; FERRI; TOGNI, 2012). Nesta região, diversos estudos têm sido desenvolvidos, nos últimos anos, com o objetivo de analisar os processos de forma o das cheias e sua série histórica (BOMBASSARO; ROBAINA, 2010; MONTE *et al.*, 2015a; MONTE *et al.*, 2015b; GREINER, 2014), mapear as áreas inundáveis (REZENDE; TUCCI, 1977; REZENDE, 1993; ECKHARDT, 2008; ECKHARDT *et al.*, 2008; MORAES, 2015; MORAES *et al.*, 2018; OLIVEIRA et al., 2018; BRUZKI *et al.*, 2020), analisar possíveis alternativas de prote o (MONTOR-MONTREAL, 1972; KRUMMENAUER, 2014; FADEL *et al.*, 2018; COLLISCHONN et al., 2021; MONTE, 2022) e prever a magnitude das cheias em tempo real (BOTH *et al.*, 2008; CHAGAS et al., 2014; SIQUEIRA *et al.*, 2015; SIQUEIRA *et al.*, 2016; PEDROLLO, 2017; FINCK, 2020; FINCK; PEDROLLO, 2021).

Boa parte desses estudos foi realizada com base em dados fragmentados, obtidos de forma heterog nea e com possíveis inconsistências. Isto ocorre porque no trecho do rio Taquari entre Lajeado e Estrela as informa es de monitoramento sistemático incluem séries de dados obtidos de postos fluviométricos que já deixaram de operar, que estiveram sob a responsabilidade de diferentes institui es e que nem sempre foram arquivados com o zelo ou cuidado que deveriam.

Além dos dados de monitoramento sistemático, existem, na região, informações de observações não sistemáticas, como marcas históricas das inundações, registradas fisicamente pelos moradores em edificações, documentadas em fotografias ou preservadas através de relatos verbais.

Como consequência da fragmentação dos dados históricos dos níveis máximos das cheias, há graves incongruências entre as diferentes fontes de dados, com diferentes magnitudes sendo atribuídas a um mesmo evento histórico de cheia registrado no passado. Essas diferenças podem influenciar no cálculo das probabilidades de ocorrência, no mapeamento das áreas de inundações e na formulação de políticas públicas, especialmente aquelas vinculadas com os Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano e com a delimitação das áreas de risco de inundações.

No rio Taquari, no trecho entre Lajeado e Estrela, as recentes cheias, que ocorreram em 05 de setembro e 19 de novembro de 2023, atingiram níveis máximos que colocaram em dúvida a série histórica de cotas máximas que vinha sendo adotada em trabalhos técnicos na região. Isto ocorreu porque a cheia de 05 de setembro de 2023 superou claramente as marcas históricas da grande cheia de maio de 1941 na cidade de Lajeado, mas, por outro lado, teve uma cota máxima registrada inferior àquela atribuída à grande cheia de 1941, de acordo com a maioria das publicações sobre a temática.

A maioria das séries históricas de cheias utilizadas em trabalhos técnicos na região de Lajeado, considera que na enchente histórica, ocorrida em maio de 1941, o nível máximo do rio Taquari foi de 29,92 m, na seção transversal localizada entre o centro histórico da cidade de Lajeado e o Porto Fluvial de Estrela. Já a catastrófica inundação de setembro de 2023, que resultou na morte de 52 pessoas ao longo do rio Taquari, atingiu a cota de 29,53 m, na mesma seção. Em outras palavras, segundo o monitoramento sistemático, a cheia de setembro de 2023 teria uma cota 39 cm mais baixa do que a cheia de 1941. Por sua vez, segundo os dados não sistemáticos, que envolvem marcas físicas em prédios, a cota máxima em 2023 foi cerca de 50 cm mais alta do que a da cheia de 1941 na área central de Lajeado. Essa contradição entre os dados sistemáticos e não sistemáticos dos níveis máximos das cheias poderia indicar que as marcas das inundações na cidade foram mal posicionadas, ou que foram cometidos erros na elaboração ou interpretação nos dados do monitoramento sistemático, ou que há erros nos dois tipos de dados.

O objetivo desta nota técnica é apresentar uma análise dos dados hidrológicos históricos disponíveis em Lajeado e Estrela, com um detalhamento das fontes dessas informações e analisar as possíveis contradições ou a consistência entre as observações sistemáticas com as marcas físicas das inundações, com atenção maior para as inundações de maio de 1941 e de setembro de 2023. De forma adicional, a nota técnica apresenta uma tabela compondo a série histórica atualizada e consolidada dos níveis máximos anuais das cheias do rio Taquari em Lajeado, que pode servir de base para os estudos posteriores de análise das inundações na região. Também é apresentada uma tabela de todas as cheias que superaram a altitude ortométrica de 17,00 m, que representa o limiar categorizado atualmente pelo SGB como nível de alerta hidrológico. Por fim, são apresentadas as 30 cheias mais relevantes que ocorreram na cidade de Lajeado, no período de 1939 até 2023, organizadas em ordem decrescente, com comparação dos níveis registrados de forma sistemática, com as marcas disponíveis no CEAT.

2 Metodologia

O rio Taquari é um dos principais rios do estado do Rio Grande do Sul, com uma área de drenagem de 26.430 km² na foz do rio Jacuí (SEMA, 2024). A montante da confluência com o rio Guaporé, é conhecido como rio das Antas. Por esse motivo, a bacia hidrográfica é conhecida como Bacia

Hidrográfica do rio Taquari-Antas. A **Figura 1** apresenta a localização da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas e do trecho de interesse do rio Taquari, no contexto do Brasil, Rio Grande do Sul e no Vale do Taquari. Na cidade de Lajeado, a área de drenagem da bacia hidrográfica do rio Taquari é de, aproximadamente, 23.000 km².

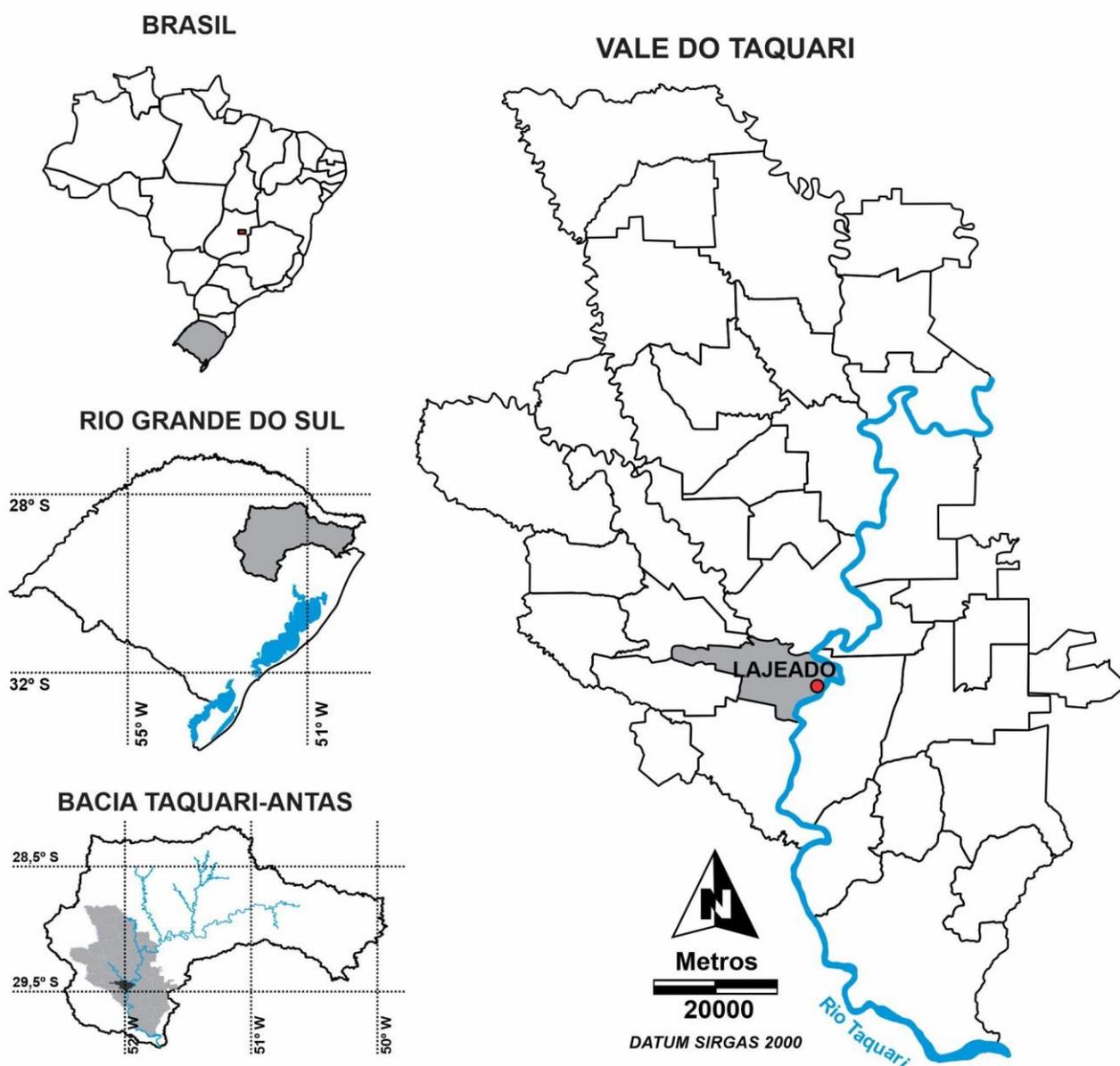


Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas no contexto do Brasil, Rio Grande do Sul (a) e localização da cidade de Lajeado no contexto da bacia do rio Taquari-Antas e do Vale do Taquari (b).

Os dados das cotas máximas das cheias do rio Taquari no trecho localizado entre as cidades de Lajeado e Estrela, no Rio Grande do Sul, incluem séries de monitoramento sistemático e registros não sistemáticos, como marcas físicas do nível máximo atingido pela água em paredes de prédios históricos e registros fotográficos.

O monitoramento sistemático foi iniciado em 1939 e vem sendo realizado em postos fluviométricos do antigo Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE), da Agência Nacional de Águas (ANA) e da Administração Hidroviária das Hidrovias do Sul (AHSUL), que foi a administradora do Porto Fluvial de Estrela.

Embora seja um monitoramento sistemático capaz de prover uma série temporal longa, para os padrões brasileiros, há dificuldades na sua análise estatística, porque as medições não foram realizadas sempre no mesmo local, e as mudanças dos locais e os métodos de medição não foram adequadamente documentados ou sua documentação não está mais disponível.

Nesse contexto, dados não sistemáticos, como as marcas físicas, fotográficas ou verbais das inundações históricas têm potencial para complementar a informação que pode ser obtida a partir do monitoramento sistemático. Contudo, a consistência das marcas históricas também deve ser analisada com cuidado, porque essas marcas podem ter sido registradas com erros.

Nesta nota técnica comparamos as informações dos níveis das cheias advindas de observações sistemáticas nos postos fluviométricos que operaram no passado e que operam na atualidade no trecho do rio Taquari, entre si e com marcas históricas das inundações. A localização dos pontos relevantes para este trabalho é apresentada na **Figura 2**, no contexto do trecho do rio Taquari entre a foz do rio Forqueta e o centro da cidade de Lajeado.

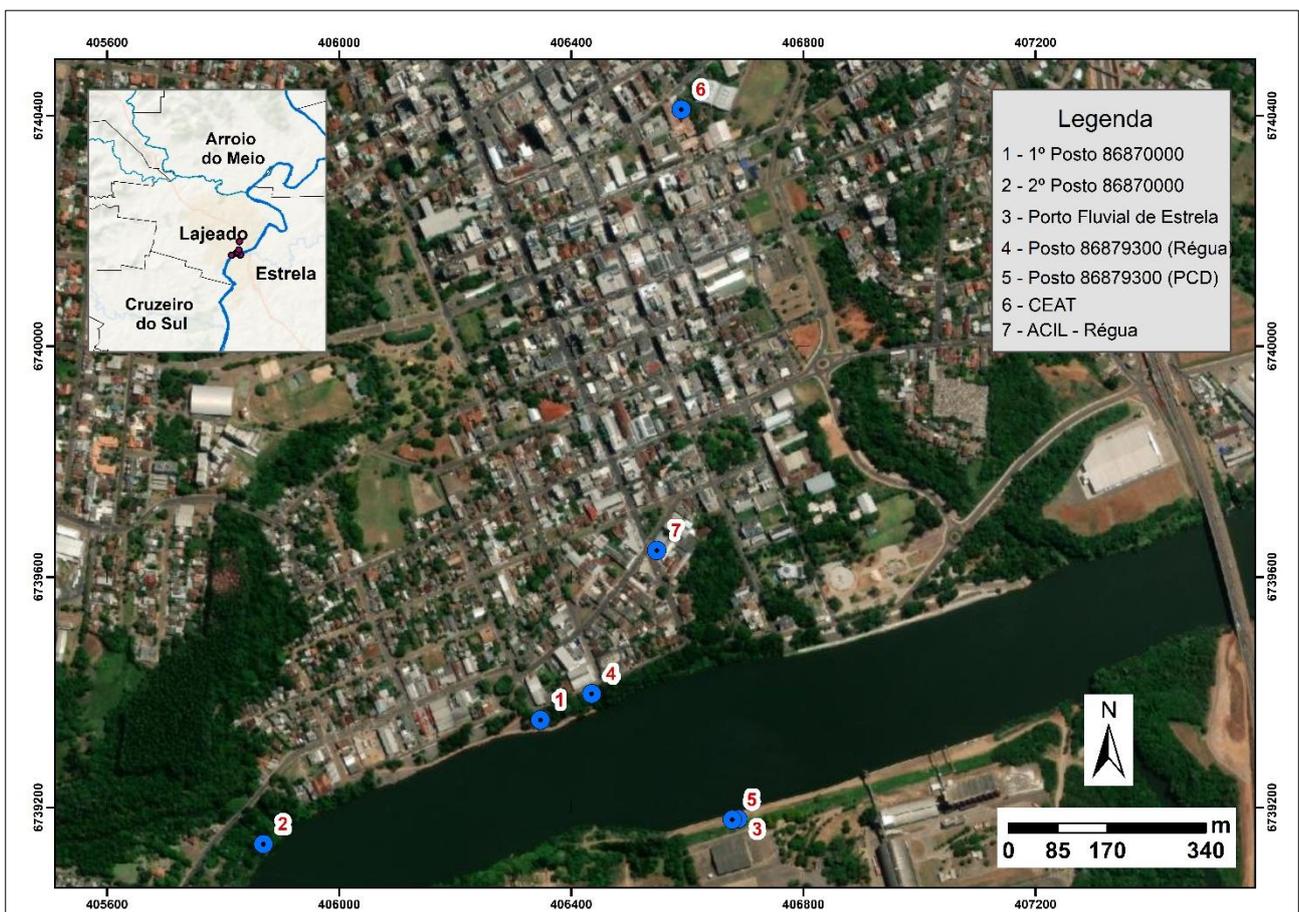


Figura 2: Localização dos pontos de medição sistemática do nível do rio Taquari e do ponto em que foram obtidas as marcas das inundações, no trecho do rio Taquari entre Lajeado e Estrela (RS).

Observações sistemáticas do nível do rio Taquari foram obtidas de três conjuntos de dados. De 1939 até 1986 foram utilizados os dados do antigo posto fluviométrico denominado Lajeado, mantido pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), posteriormente pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e, finalmente, pela Agência Nacional de Águas (ANA). Esses dados estão disponíveis no Hidroweb da ANA sob o código 86870000, sendo que uma análise dos dados do posto 86870000 está detalhada no Item 4.

Entre 1939 e 1960, o conjunto de réguas do posto fluviométrico 86870000 estava localizado próximo à esquina entre as ruas Osvaldo Aranha e Silva Jardim, no centro histórico da cidade de Lajeado (Ponto 1 da **Figura 2**). De 1961 até 1986, as réguas do posto fluviométrico 86870000 ficaram instaladas cerca de 400 metros mais para jusante, no Ponto 2 da **Figura 2**, em um local próximo à foz do Arroio Saraquá. No Item 4 também apresentamos mais detalhes sobre a mudança de local do conjunto de réguas do posto fluviométrico 86870000.

De 1980 até 2015 foram considerados os dados do monitoramento sistemático do nível do rio Taquari realizado no Porto Fluvial de Estrela e que não constam, até o presente momento, na base de dados do Hidroweb da ANA. O porto de Estrela foi inaugurado em 1977 e o monitoramento das cotas do rio Taquari era realizado em um conjunto de réguas localizado na margem oposta ao centro de Lajeado (Ponto 3 da **Figura 2**). As observações no Porto de Estrela foram realizadas manualmente, com frequência diária, desde 1 de janeiro de 1977 até 11 de agosto de 1980. A partir de 12 de agosto de 1980 até 31 de dezembro de 2015, as observações no local passaram a ter uma frequência maior, com 4 medições por dia, ainda de forma manual, às 0:00, 6:00, 12:00 e 18:00. Além disso, nesse período, sempre que eram observadas cheias importantes, os registros aumentavam para frequência horária. Todos os dados do nível do rio Taquari e dos níveis das inundações foram documentados em cadernos de registros em papel e, posteriormente, transcritos para planilhas em arquivos digitais. Uma análise dos dados do Porto Fluvial de Estrela é apresentada no Item 5.

De 2015 até o final de 2023 foram considerados os dados do monitoramento sistemático realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) no posto fluviométrico Estrela, que estão disponíveis na base de dados Hidroweb sob o código 86879300 (ANA, 2024). Neste posto, há um sensor automático que está localizado na margem esquerda (ponto 5 na **Figura 2**), no Porto Fluvial de Estrela, e está em operação desde 2013. Desde 2021 o posto 86879300 conta, também, com um conjunto de réguas na margem direita (ponto 4 da **Figura 2**) do rio Taquari, em Lajeado.

O posto fluviométrico 86879300 permanece ativo na atualidade, com fornecimento das informações do nível do rio Taquari em tempo real na plataforma SACE (SGB - CPRM, 2024). Para o presente trabalho, os dados integrais do monitoramento do nível do rio Taquari deste posto foram obtidos diretamente do SGB, para estender a série para o período mais recente. Uma análise dos dados da Estação 8687930 está apresentada no Item 6.

As cotas medidas nos postos fluviométricos referem-se à elevação do nível da água acima de um nível de referência arbitrário, o zero da régua. Diferentes postos fluviométricos podem ter diferentes níveis de referência arbitrários. Para comparar a série de medições realizadas nos diferentes postos fluviométricos que já operaram no trecho de interesse do rio Taquari entre si e com as marcas de cheias em estruturas e edificações, é necessário obter os valores equivalentes de altitude ortométrica dos níveis da água, conforme o esquema da **Figura 3**. Para isso é aplicada a equação 1:

$$H = Z + R \quad (1)$$

em que R é a cota arbitrária medida na régua; Z é a altitude ortométrica do zero da régua; e H é altitude ortométrica do nível da água.

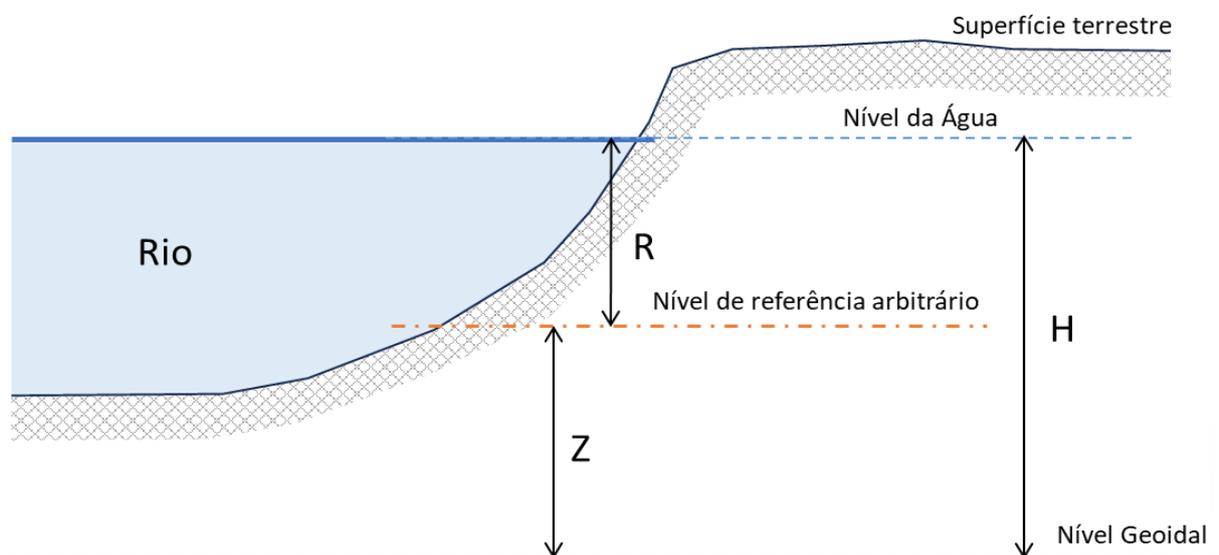


Figura 3: Representação esquemática da medida das cotas do nível da água de um rio (R: Cota medida na régua em relação a um referencial arbitrário; Z: diferença de nível do zero da régua para altitude ortométrica; H: Altitude ortométrica do nível da água).

A altitude ortométrica é a distância vertical entre um ponto na superfície terrestre e o geóide. O geóide é uma superfície equipotencial do campo da gravidade terrestre e pode ser entendido como uma superfície de equilíbrio de massas d'água. Em outras palavras, o geóide pode ser entendido como o nível médio que teria o oceano no local em que está sendo feita a medição, mesmo que a medição seja realizada em áreas continentais, distantes do oceano.

As marcas históricas das inundações, do monitoramento não sistemático, foram obtidas em um dos prédios do Colégio Evangélico Alberto Torres (CEAT), em que há um conjunto de placas de metal fixadas em um pilar (ponto 6 da **Figura 2**). A aferição da altitude ortométrica das marcas das inundações foi realizado em campo com GNSS RTK (Sistema Global de Navegação por Satélite com Posicionamento Cinemático em Tempo Real ou *Real Time Kinematic*) combinado com o uso de estação total. Com apoio dos marcos da Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) de Lajeado, o GNSS RTK foi utilizado para aferir com precisão milimétrica a altitude ortométrica do terreno próximo ao pilar do prédio do CEAT onde estão afixadas as placas dos níveis das inundações. Na sequência, no mesmo ponto do terreno foi instalada a estação total, com configuração do equipamento, permitindo aferir a diferença de nível e a altitude ortométrica de cada marca de inundação. Os levantamentos em campo foram realizados nos dias 20 e 27 de abril de 2023, atualizados em 07 de setembro de 2023 e novamente em 24 de novembro de 2023.

Também foram utilizadas informações adicionais de documentos da equipe de hidrometria do DNAEE, do SGB-CPRM e informações pessoais obtidas com pessoal técnico que trabalhou ou esteve envolvido com trabalhos sobre o Porto Fluvial de Estrela.

Em resumo, a análise de consistência da série histórica dos níveis das cheias e das inundações de Lajeado foi realizada a partir dos dados registrados no posto fluviométrico ANA 86870000 (1939 - 1986), nos registros documentados pelo Porto Fluvial de Estrela (1980- 2015), nas observações do atual posto fluviométrico da ANA 8687930 (2015 - 2023), instalado no Porto Fluvial de Estrela, e as marcas históricas no Colégio Evangélico Alberto Torres (CEAT), nivelados a partir dos Referências de Nível (RN) do Banco de Dados Geodésico do IBGE e dos marcos da Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) de Lajeado, com levantamento de GPS RTK e Estação Total.

3 Análise das marcas históricas das inundações em Lajeado

Existem registros não sistemáticos documentados dos níveis das inundações passadas do rio Taquari-Antas nos municípios de Lajeado, Estrela e outras cidades do Vale do Taquari. Os registros mais frequentes são fotográficos ou registros em jornais. Além disso, é muito comum encontrar relatos de moradores cujos antepassados optaram por construir suas residências e edificações considerando a maior inundação conhecida, seja para a construção sobre pilares livres ou a base para o segundo andar, como níveis de segurança. Mais recentemente, com a expansão dos telefones celulares com capacidade de obter fotografias e vídeos, e com a difusão destas imagens nas redes sociais, cada vez mais registros não sistemáticos têm ficado disponíveis para apoiar a análise de eventos extremos (GIORDANI *et al.*, 2021). Também existem locais em que se tornou um hábito registrar marcas dos eventos extremos em rochas da margem ou em estruturas, como prédios e pontes, tanto de cheias como de secas (A HORA, 2022; GREINER, 2014).

Dentre os registros históricos não sistemáticos das inundações do rio Taquari, no trecho entre Lajeado e Estrela, destacam-se os registros materiais feitos no Colégio Evangélico Alberto Torres (CEAT) de Lajeado, descritos a seguir.

3.1 Marcas das inundações no CEAT

O Colégio Evangélico Alberto Torres (CEAT) está localizado na Rua Alberto Torres, nº 219 (Ponto 6, da **Figura 2**), em Lajeado. O prédio em que estão as marcas históricas das inundações no CEAT está localizado a uma distância de pouco menos de 1 km do rio Taquari, em linha reta. A inundação do local ocorre porque as águas do rio Taquari inundam o vale do Arroio do Engenho, que é um pequeno afluente canalizado do rio Taquari.

De acordo com o Espaço Memórias do Colégio Evangélico Alberto Torres, o prédio cujo pilar serve de base para as marcas das inundações foi construído entre os anos de 1960 e 1970. Isso significa que as marcas das inundações anteriores a 1970 foram registradas, inicialmente, em outro local, e transportadas, posteriormente, para o pilar do prédio em que estão atualmente. Entretanto, não foram encontradas informações sobre como foi realizada a transposição das marcas. Uma informação relevante e complementar às marcas das inundações, de acordo com informações verbais da diretoria do CEAT, o prédio onde estão as marcas foi projetado e construído para que a viga e o piso das salas de aula ficassem acima da cota máxima da inundação de 1941.

Nesse local, há um conjunto de placas metálicas fixadas no pilar central de um dos prédios do CEAT, onde estão marcados os níveis máximos das inundações (**Figura 4**). As marcas existentes no pilar indicam o ano, e, às vezes, o mês de ocorrência da inundação, já que no rio Taquari não é incomum a ocorrência de dois ou mais picos de cheia independentes e importantes ao longo do mesmo ano.



Figura 4: Detalhe do pilar de um dos prédios do CEAT com as placas metálicas indicando os níveis máximos das inundações históricas do rio Taquari na cidade de Lajeado (A) e o cenário da inundação de 09 de julho de 2020 no referido pilar do CEAT (B).

Antes de 2023, a marca da inundação mais alta registrada no prédio do CEAT estava na viga acima do referido pilar, referente à inundação de 05 de maio de 1941, considerada, até 2023, a maior cheia da história da cidade de Lajeado. A posição dessa marca está destacada na fotografia da **Figura 5**.



Figura 5: Vista completa do pilar e da viga do prédio do CEAT onde estão as marcas das principais inundações históricas registradas em Lajeado, com uma seta para indicar a localização da marca da cheia de 1941 na viga acima do pilar.

Combinando levantamento topográfico, com utilização do sistema GNSS RTK e Estação Total, foi realizada a aferição da altitude ortométrica de cada marca de inundação, referenciada aos marcos da Rede de Referência Cadastral Municipal de Lajeado, que por sua vez, estão referenciadas aos marcos e Referenciais de Nível (RN) do Banco de Dados Geodésicos (BDG) do IBGE.

A **Tabela 1** apresenta a lista das marcas das inundações registradas no CEAT e a altitude ortométrica correspondente aferida em campo com GNSS RTK e Estação Total, organizada em

ordem decrescente de magnitude. Cada placa tem, aproximadamente, 5 cm de altura e sua altitude ortométrica foi medida no limite superior da marca.

Tabela 1: Lista das inundações marcadas com placas de metal fixadas no pilar do prédio do CEAT com a identificação da marca da inundação no CEAT, a data de ocorrência da inundação e altitude ortométrica medida em metros.

Identificação da marca da inundação no CEAT	Data de Ocorrência da Inundação	Altitude Ortométrica aferida no CEAT (m)
09/2023	05/09/2023	29,00
11/2023	18/11/2023	28,49
1941	06/05/1941	28,49
1940	18/07/1940	27,32
1912	01/09/1912	27,18
1956	06/04/1956	27,03
07/2020	09/07/2020	26,90
1928 - Posição 2	09/09/1928	26,90
1928 - Posição 1	09/09/1928	26,85
1919	Desconhecida	26,63
10/2001	02/10/2001	26,32
07/2011	21/07/2011	26,21
2008	27/10/2008	26,00
1990	01/06/1990	25,92
07/2001	21/07/2001	25,72
09/2007	24/09/2007	25,67
1965	21/08/1965	25,32
1989	25/09/1989	25,23
09/1987*	21/09/1967*	24,91
09/1989	13/09/1989	24,57
1982	29/06/1982	24,16
08/2011	10/08/2011	24,01
09/2009	13/09/2009	23,91
07/2007	11/07/2007	23,85

* Conforme discutido no item 7.1, a placa fixada no pilar do CEAT que indica a data de 09/1987 tem um erro de grafia, e corresponde, na verdade, à inundação ocorrida em 21/09/1967.

É importante destacar que pode haver uma incerteza considerável associada com as cotas máximas das inundações obtidas a partir das marcas históricas. Isso ocorre, principalmente, porque não é possível ter certeza que as marcas foram colocadas na posição correta, especialmente no caso das marcas das inundações anteriores ao ano de 1970 (ano final da construção do prédio onde estão

as marcas), já que essas marcas foram colocadas em cotas transportadas por algum tipo de nivelamento, a partir do seu local original.

Outro aspecto que deve ser mencionado é que as marcas das inundações existentes no CEAT não deveriam ser comparadas diretamente com observações de cotas máximas ou marcas históricas em outros pontos ao longo do rio Taquari, por conta da declividade da linha da água, que, nesse trecho, pode ser da ordem de 30 a 40 cm de altura por km de distância, durante as cheias. No caso de serem realizadas comparações dos níveis das inundações em pontos diferentes na mesma cidade, são esperadas variações no nível máximo da inundação, e essas diferenças observadas devem ser discutidas nas conclusões.

Apesar das incertezas potenciais mencionadas, as marcas históricas dos níveis das inundações, disponíveis no CEAT, são relevantes porque permitem checar a coerência dos níveis das inundações registradas pelos levantamentos sistemáticos, conforme descrito no Item 7, e por permitirem estender a série histórica dos níveis das inundações para períodos longos do passado, anteriores ao monitoramento sistemático.

3.2 Comparação direta do nível máximo das inundações de 2023 com marcas históricas em Lajeado

O ano de 2023 foi marcado por diversas enchentes no rio Taquari-Antas, que resultaram em duas inundações com magnitude extrema no trecho médio e inferior da bacia hidrográfica, especialmente no trecho localizado entre as cidades de Santa Tereza e Taquari. A primeira inundação ocorreu entre os dias 4 e 6 de setembro, com pico no dia 5 (terça-feira) no trecho entre as cidades de Lajeado e Estrela. A segunda inundação teve seu pico no dia 19 de novembro de 2023 (domingo) nas cidades de Lajeado e Estrela e foi um pouco menor do que a primeira.

Durante essas duas inundações (05 de setembro e 19 de novembro), o prédio do CEAT, onde estão fixadas as marcas referentes às inundações históricas (Ponto 6 na **Figura 2**), foi novamente atingido, permitindo uma comparação e uma aferição direta entre o nível da água dessas duas inundações com as marcas das cheias históricas.

Em uma observação direta no prédio do CEAT, observou-se que a inundação de 5 de setembro de 2023 atingiu um nível 51 cm acima da marca da cheia de 05 de maio de 1941, representada pelo limite superior da viga do prédio (**Figura 6**) do CEAT. A diferença foi medida de forma manual, com uma trena milimetrada, na própria estrutura do prédio, no dia 06 de setembro, imediatamente após a redução do nível da água no local e antes da remoção dos resíduos e da lama por parte da equipe de limpeza da escola. A diferença de 51 cm foi confirmada visualmente em vários pontos do prédio. Semanas após a inundação de setembro de 2023, a direção do Colégio Evangélico Alberto Torres fixou uma nova placa metálica na parede externa do prédio, no alinhamento do prolongamento do pilar, para documentar o nível máximo da inundação de 05 de setembro.

Após a cheia de 19 de novembro de 2023, o procedimento de observação direta no prédio do CEAT permitiu observar que esta inundação cobriu completamente a viga do prédio sobre a coluna onde estão as marcas históricas das inundações, e igualou a marca da grande cheia de 1941.

Dessa forma, com base na observação direta dos níveis das duas inundações de 2023 no prédio do CEAT, e sua comparação com a marca da cheia de 1941 ali existente, conclui-se que a inundação de novembro de 2023 igualou o nível da grande cheia de 1941, e que **a inundação de 5 de setembro de 2023 superou a cheia de 1941 em 51 cm na cidade de Lajeado.**

Cabe mencionar que a diferença de 51 cm entre as inundações de 5 de setembro de 2023 e 19 de novembro de 2023 também foi observada, medida e registrada em mais locais da cidade de Lajeado, como por exemplo, na Rua Júlio May, nº 242, na parede lateral localizada abaixo do acesso da Prefeitura Municipal de Lajeado.



Figura 6: Vista lateral do pilar e do prédio do CEAT onde estão as marcas das inundações históricas, visto a partir da rua Carlos Von Koseritz, destacando a mancha de umidade resultante da inundação de 5 de setembro de 2023 (Seta 1), localizada 51 cm acima do limite superior da viga branca, que representa o local em que está marcado nível máximo da inundação de 05 de maio de 1941 (seta 2).

4 Avaliação dos dados do antigo posto fluviométrico Lajeado

Entre os anos de 1939 e 1986 foi operado um posto fluviométrico no rio Taquari, na cidade de Lajeado, mantido inicialmente pelo antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) e posteriormente pela Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais (CPRM). O código desse posto é 86870000 e a série de dados está disponível na base de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA). A série de dados dos níveis médios diários medidos nesse posto fluviométrico está apresentada, graficamente, na **Figura 7**.

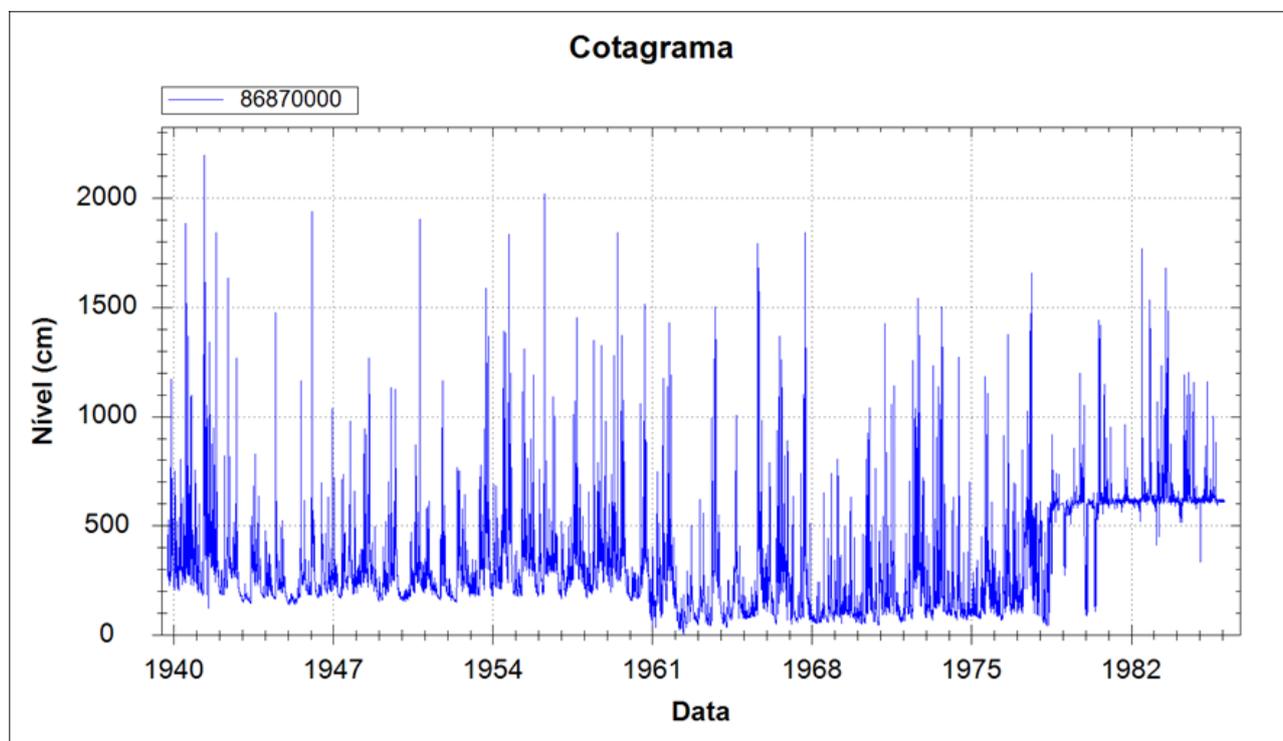


Figura 7: Gráfico dos níveis médios diários medidos no posto fluviométrico 86870000, localizado no rio Taquari, na cidade de Lajeado, evidenciando os efeitos de uma provável mudança do zero (nível de referência) da régua em 1961 e com o início da operação da Barragem Eclusa de Bom Retiro do Sul no final de 1977.

A análise do gráfico das cotas médias diárias do posto fluviométrico 86870000 (**Figura 7**), revela que a série temporal dos níveis do rio Taquari apresenta três períodos, com comportamento distinto.

No primeiro período, que se estende de 1939 até o final de 1960, os níveis mínimos do rio Taquari ficam entre 100 e 200 cm, enquanto os níveis máximos frequentemente superam 1.500 cm (15 m), chegando a superar os 20 metros em 2 oportunidades (05 de maio 1941 e 06 de abril de 1956).

No segundo período, que se estende de 1961 até meados de 1978, os níveis do rio Taquari variam entre 70 cm, aproximadamente, nas mínimas, e mais de 1500 cm nas máximas. Entretanto, parece haver uma redução da frequência de valores acima de 1500 cm em relação ao período anterior.

No terceiro período, que inicia em meados de 1978 e se estende até o final da série, em 1986, os níveis mínimos do rio Taquari raramente são inferiores a 600 cm (6 m), e os níveis máximos são semelhantes ao período imediatamente anterior.

A existência desses três períodos distintos na série temporal dos níveis médios diários do rio Taquari pode ser explicada por dois fatores: 1) o reposicionamento das régua linimétrica no início da

década de 1961 e; 2) o início da operação de controle de níveis do rio Taquari, em 1978, na Barragem de Bom Retiro do Sul, que foi inaugurada em 29 de outubro de 1976.

O processo de reposicionamento das réguas de medição do antigo posto fluviométrico 86870000 está documentado, porém sem todas as informações relevantes. De acordo com as fichas cadastrais do antigo DNAEE, no período de 1939 ao final de 1960, as réguas linimétricas do posto fluviométrico 86870000 estavam localizadas junto a uma casa pertencente à Companhia de Navegação Arnt, hoje já demolida, e situada, aproximadamente, onde atualmente é a esquina das ruas Silva Jardim e Osvaldo Aranha (ponto 1 da **Figura 2**), na cidade de Lajeado. No período posterior, as réguas foram instaladas algumas centenas de metros a jusante, no lado oposto ao número 401 da Avenida Beira Rio (ponto 2 da **Figura 2**).

A observação da mudança do comportamento do hidrograma da **Figura 7**, entre o final de 1960 e o início de 1961, sugere que, no processo de reposicionamento das réguas, também parece ter havido uma mudança do referencial (zero da régua). Infelizmente, essa mudança do zero da régua não está descrita nas fichas disponíveis do referido posto fluviométrico. Em meados de 1978, a Barragem Eclusa de Bom Retiro do Sul, localizada no rio Taquari, aproximadamente 21 km a jusante da cidade de Lajeado, começou a operar mantendo o nível mínimo do rio mais elevado do que o que costumava ocorrer naturalmente.

Em 1993, o engenheiro Bruno Seibert de Rezende elaborou um relatório de consultoria para a prefeitura de Lajeado, com uma análise das cotas máximas das cheias do rio Taquari na cidade de Lajeado (REZENDE, 1993). Nesse relatório, não há menção explícita ao posicionamento das réguas do referido posto fluviométrico. Entretanto, é apresentada uma tabela com os níveis máximos, expressos como altitudes ortométricas, ou seja, corrigidas pela altitude do zero da régua, conforme a equação 1. Comparando essa tabela com os dados dos níveis máximos do posto fluviométrico 86870000, é possível deduzir que o engenheiro Rezende considerou a altitude de 5,60 metros como zero da régua no período de 1939 a 1960, e a altitude de 6,60 metros no período de 1961 a 1976.

As informações contidas no relatório de Rezende (1993) coincidem com o comportamento da série de níveis do rio Taquari (**Figura 7**). Com base no hidrograma e no relatório de Rezende é possível considerar que o conjunto de réguas do posto fluviométrico 86870000 foi deslocado entre 1960 e 1961, e teve uma alteração do zero da régua. Com o novo posicionamento, o zero da régua subiu de 5,60 m para 6,60 m, motivo pelo qual os níveis medidos a partir de 1961 apresentam valores inferiores aos níveis medidos entre 1939 e 1960 (**Figura 7**). Um esquema da mudança vertical das réguas, considerando válidas as informações apresentadas por Rezende (1993), é apresentado na **Figura 8**.

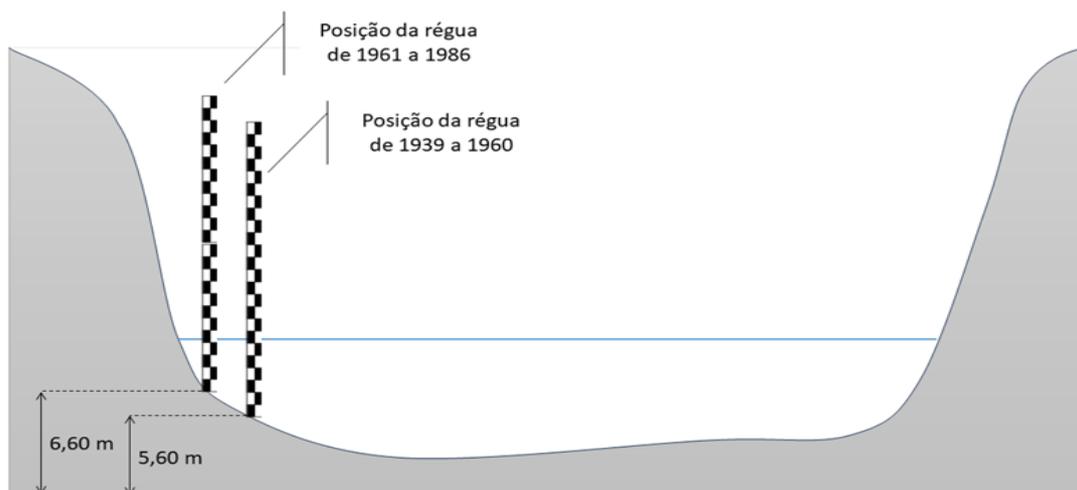


Figura 8: Representação esquemática da mudança de posição vertical do sistema de réguas do posto fluviométrico Lajeado (86870000).

A **Tabela 2** apresenta os valores dos níveis máximos anuais medidos no posto fluviométrico 86870000, no rio Taquari, em Lajeado, no período de 1939 a 1986, obtidos dos dados disponíveis no sistema Hidroweb da ANA. A primeira coluna apresenta o ano, a segunda coluna apresenta a data de ocorrência da cota máxima anual, a terceira coluna apresenta o nível máximo medido na régua e a quarta coluna apresenta uma estimativa da altitude ortométrica correspondente, considerando como válidos os valores da cota ortométrica utilizados por Rezende (1993) para o zero da régua: 560 cm no período entre 1939 e 1960 e 660 cm no período entre 1961 e 1986.

Tabela 2: Níveis máximos das cheias do rio Taquari no posto fluviométrico 86870000 (primeira coluna: Ano; segunda coluna: data da maior enchente anual; terceira coluna: nível máximo das cheias medidas nas réguas; quarta coluna: estimativa da altitude ortométrica máxima das cheias, considerando que o zero da régua era 560 cm no período entre 1939 e 1960 e 660 cm no período entre 1961 e 1986.

Ano	Data da maior enchente anual	Nível máximo das cheias medido nas réguas (cm)	Altitude ortométrica máxima das cheias (cm)
1940	17/07/1940	1920	2480
1941	05/05/1941	2272	2832
1942	19/05/1942	1670	2230
1943	03/08/1943	846	1406
1944	25/06/1944	1546	2106
1945	31/07/1945	1200	1760
1946	26/01/1946	2020	2580
1947	30/09/1947	990	1550
1948	02/08/1948	1340	1900
1949	17/07/1949	1210	1770
1950	17/10/1950	1913	2473
1951	19/10/1951	1186	1746
1952	10/06/1952	815	1375

Ano	Data da maior enchente anual	Nível máximo das cheias medido nas réguas (cm)	Altitude ortométrica máxima das cheias (cm)
1953	16/09/1953	1591	2151
1954	22/09/1954	2015	2575
1955	19/05/1955	1311	1871
1956	05/04/1956	2166	2726
1957	09/09/1957	1565	2125
1958	13/06/1958	1460	2020
1959	23/06/1959	1943	2503
1960	01/09/1960	1550	2110
1961	30/09/1961	1560	2220
1962	20/09/1962	680	1340
1963	11/10/1963	1550	2210
1964	02/09/1964	1100	1760
1965	21/08/1965	1870	2530
1966	05/08/1966	1480	2140
1967	20/09/1967	1840	2500
1968	07/11/1968	780	1440
1969	19/02/1969	810	1470
1970	08/07/1970	1050	1710
1971	16/03/1971	1550	2210
1972	28/08/1972	1620	2280
1973	19/09/1973	1500	2160
1974	10/06/1974	1380	2040
1975	11/08/1975	1260	1920
1976	09/08/1976	1520	2180
1977	18/08/1977	1670	2330
1978*	22/07/1978	1030	1690
1979	07/10/1979	1220	1880
1980	30/07/1980	1530	2190
1981*	24/09/1981	1012	1672
1982*	29/06/1982	1934	2594
1983*	07/07/1983	1754	2414
1984*	09/07/1984	1327	1987
1985*	10/05/1985	1170	1830

* O nível máximo da cheia do ano de 1978 foi definido considerando o período de janeiro a outubro, já que houve falha de observação no posto 86870000 nos meses de novembro e dezembro. Uma comparação com a série de dados do posto fluviométrico 86510000 (Muçum), localizado mais a montante, sugere que em novembro e dezembro não ocorreram cheias maiores do que nos 10 meses anteriores. Situação semelhante ocorreu nos anos de 1981, 1982, 1983, 1984 e 1985, em que também houve falhas de observação no posto 86870000, mas em que foi possível confirmar, usando os dados do posto fluviométrico de Muçum, que os períodos com falhas não apresentavam ocorrência de cheias importantes.

O conjunto de dados dos níveis máximos das cheias medidas nas réguas em cada ano na estação 86870000 (Lajeado), apresentado na **Tabela 2**, apresenta informações válidas para o período de 1939 até 1985. Mesmo quando considerado isoladamente, esse conjunto de dados, de 46 anos, é uma série histórica de monitoramento hidrológico de tamanho relativamente extensa no contexto brasileiro.

Os níveis máximos das cheias de (05/05/1941) e de (06/04/1956) se destacam na **Tabela 2**, apresentando os maiores valores de magnitude. Em 1941, o nível máximo aferido nas réguas do posto fluviométrico 86870000 foi de 2272 cm (22,72 m), o que equivale a uma altitude ortométrica de 2832 cm (28,32 m), considerando que o zero da régua existente naquela época estava na altitude ortométrica de 5,60 m. É importante observar que esse valor de 28,32 metros difere do valor de 29,92 metros, frequentemente citado por diversos autores como Eckhardt (2008), Greiner (2014), Moraes (2015), Kurek (2016) e que teria sido medido no Porto Fluvial de Estrela, na margem oposta ao centro de Lajeado. As causas para esta diferença são discutidas no Item 5, que trata da análise dos dados de medições sistemáticas realizadas no porto.

Infelizmente, não há documentos adicionais, além do relatório de Rezende (1993), sobre a altitude ortométrica do zero das réguas do posto fluviométrico 86870000, tanto na sua posição original, mantida entre 1939 e 1960, como na posição modificada e mais recente, mantida entre 1961 e 1986. Os dados desse posto fluviométrico foram mantidos pelo DNAEE, que foi extinto em 1996, com a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Acreditamos que a informação sobre a altitude ortométrica do zero das réguas da estação fluviométrica 86870000, consultada pelo Engenheiro Bruno Rezende, antes de 1993, quando o DNAEE ainda não havia sido extinto, foi extraviada no processo de transferência do acervo de dados para a ANEEL e, depois, para a ANA. É possível supor, entretanto, que o engenheiro Rezende tenha tido acesso aos dados originais do DNAEE no trabalho de elaboração do seu relatório de 1993, que lhe permitiu estimar em 5,60 m e em 6,60 m a altitude ortométrica do zero da régua do posto fluviométrico 86870000, respectivamente, nos períodos de 1939 a 1960 e 1961 a 1986.

5 Avaliação da série de dados do Porto Fluvial de Estrela

A série histórica dos níveis do rio Taquari registrada no Porto Fluvial de Estrela, disponibilizada pela AHSUL, apresenta dados medidos de janeiro de 1977 até dezembro de 2015. O porto foi inaugurado em 10 de novembro de 1977, e o monitoramento dos níveis do rio Taquari era realizado em um conjunto de réguas linimétricas localizadas na margem oposta ao centro de Lajeado. No período de janeiro de 1977 até agosto de 1980 o monitoramento no porto foi realizado com uma medição por dia. Já de setembro de 1980 até dezembro de 2015 o monitoramento foi intensificado para quatro observações diárias, realizadas às 00:00; 06:00; 12:00 e 18:00.

A série de dados dos níveis médios diários do rio Taquari medidos no porto fluvial de Estrela de 1980 até 2012 está apresentada na **Figura 9**.

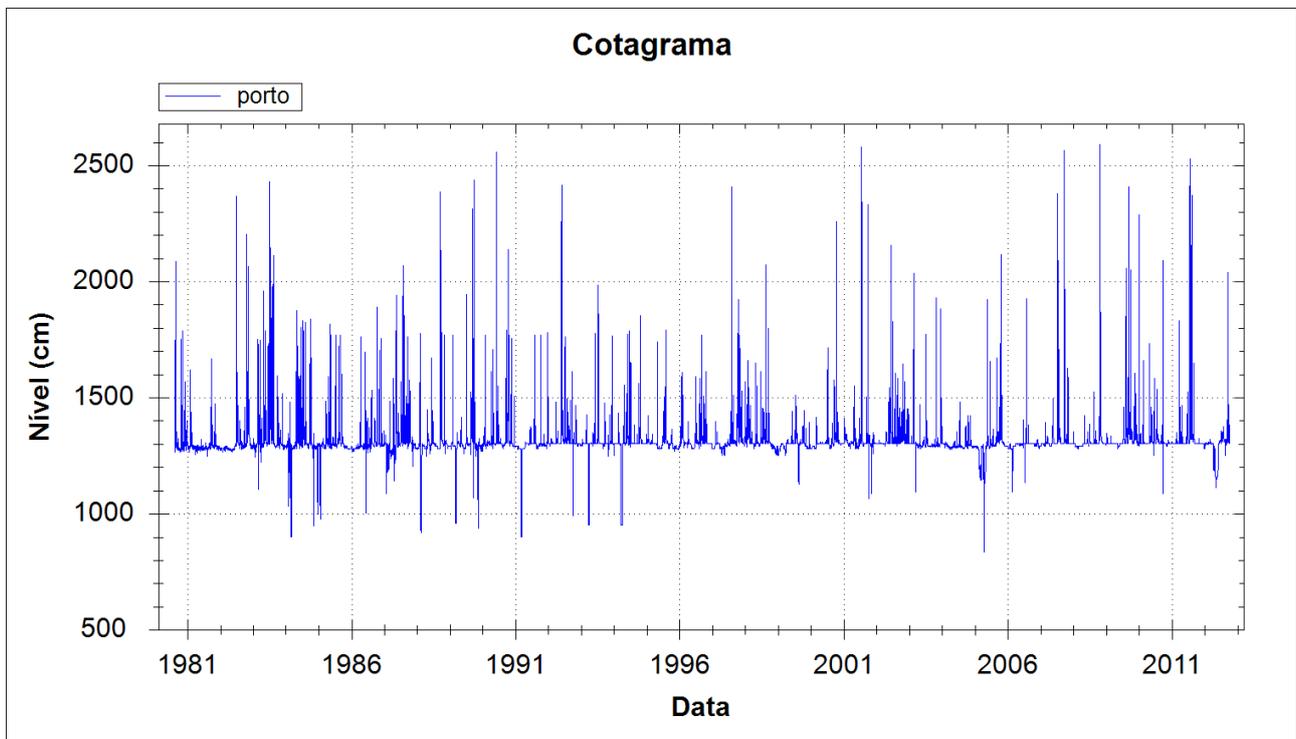


Figura 9: Série histórica dos níveis médios diários observados nas réguas linimétricas do Porto Fluvial de Estrela no período de 1980 a 2012.

Observa-se, na **Figura 9**, que os valores máximos registrados no Porto Fluvial de Estrela frequentemente superaram 2000 cm (20,00 metros). Os valores mínimos se encontram próximos a 1300 cm, que é, aproximadamente, o nível da água do rio Taquari mantido pela operação da Barragem de Bom Retiro do Sul, para permitir a navegação até o Porto Fluvial de Estrela. Em algumas ocasiões, quando as comportas da barragem foram abertas, o nível da água no porto diminuiu para cotas inferiores a 1000 cm (**Figura 9**).

As réguas de medição do nível do rio Taquari localizada no Porto de Estrela estavam vinculadas a uma referência de nível (RN) arbitrária demarcada sobre o cais, em um ponto aproximadamente 4 metros acima do nível da água mantido, normalmente, pela operação da barragem de Bom Retiro do Sul. A esta referência de nível, identificada como RN1, foi atribuída a cota arbitrária de 17,000 m, conforme ilustrado na **Figura 10**.



Figura 10: Cota arbitrária marcada sobre o cais do Porto Fluvial de Estrela (marco RN1) para apoiar as medições das réguas utilizadas para o monitoramento do nível do rio Taquari.

As medições realizadas pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) na implantação do posto fluviométrico 86879300, atualmente em operação, indicaram que o marco RN1 apresenta altitude ortométrica de 16,454 m (CPRM, 2015). Considerando correto esse valor, é possível calcular a altitude ortométrica do zero das réguas que foram utilizadas para as medições do nível do rio Taquari de 1977 até 2015, utilizando a equação 1. Neste caso, em um mesmo ponto (a RN1), são conhecidos os valores de H (altitude ortométrica) e de R (cota que seria medida pela régua caso o nível da água atingisse a RN1), sendo $H = 16,454$ m, e $R = 17,000$ m. Isolando o termo Z, na equação 1, é obtido o valor $Z = -0,546$ m.

Isto significa que a altitude ortométrica do zero da régua utilizada no porto de Estrela de 1977 até 2015 era de, aproximadamente, 0,55 metros.

É importante mencionar que as medições realizadas pelo Serviço Geográfico do Brasil (CPRM, 2015) foram verificadas, posteriormente, em um estudo realizado por Agrosig e Feeng (2016), o qual encontrou uma diferença de apenas 1,30 centímetros na altitude da RN1, em relação ao estudo anterior.

Assim, a altitude ortométrica do zero da régua do porto de Estrela $Z = -0,55$ metros, medido pela CPRM (2015) significa que uma cheia do rio Taquari que atingiu a cota máxima de 25,00 metros nas réguas do porto atingiu a altitude ortométrica de 24,45 m nesse mesmo local. Da mesma forma, o nível de 13,00 metros medido na régua, que era o nível normal no rio Taquari no local mantido pela operação da barragem de Bom Retiro do Sul, corresponde à altitude ortométrica de 12,45 metros. Ou seja, é necessário descontar 55 cm de todos os níveis do rio Taquari registrados no Porto de Estrela, no período de 1977 até 2015, para obter os níveis máximos das cheias em termos de altitude ortométrica.

A **Tabela 3** apresenta os níveis máximos anuais das cheias registradas nas réguas linimétricas do Porto Fluvial de Estrela, no período de 1981 até 2015, contemplando a data de ocorrência do evento, o nível máximo registrado na régua do porto e a altitude ortométrica correspondente, considerando que a altitude do zero da régua era -55 cm.

Como se observa na **Tabela 3**, o monitoramento sistemático dos níveis da água do rio Taquari realizado no porto fluvial de Estrela apresenta uma série de 35 anos de cotas máximas anuais. Em cinco desses 35 anos, de 1980 a 1985, o monitoramento realizado no porto de Estrela foi concomitante ao monitoramento realizado no antigo posto fluviométrico 86870000 e os valores máximos podem ser comparados.

Em 1981 a cota máxima na régua do Porto de Estrela foi de 17,20 metros, o que corresponde à altitude ortométrica de 16,65 metros, sendo que o pico ocorreu no dia 25 de setembro. Já de acordo com o monitoramento sistemático no antigo posto fluviométrico 86870000 (ver **Tabela 2**), a maior cota ocorreu no dia 24 de setembro, tendo atingido 10,12 metros na régua, o que corresponde à altitude ortométrica de 16,72 metros. Neste caso, a diferença entre as altitudes ortométricas dos níveis máximos da água é de apenas 7 cm (16,65 - 16,72 metros), o que pode ser considerada uma diferença pequena. A discordância em relação à data de ocorrência da cota máxima, possivelmente, é em função do pico da cheia ter ocorrido durante a noite.

Em 1983, 1984 e 1985 as diferenças das altitudes ortométricas do nível máximo anual também são muito pequenas: -1 cm, -3 cm e -10 cm, respectivamente. Isto sugere que nestes três anos a altitude ortométrica do pico da cheia, medida no antigo posto 86870000, foi um pouco inferior à altitude medida no porto, mas a diferença foi relativamente pequena.

Tabela 3: Níveis máximos anuais das cheias registradas no Porto Fluvial de Estrela (1981 até 2015), com a data de ocorrência, o nível máximo anual registrado e a altitude ortométrica correspondente, considerando o ajuste da altitude do zero da régua em -55 cm.

Ano	Data da maior enchente anual	Nível máximo das cheias medido no porto (cm)	Altitude ortométrica* máxima das cheias medida no porto (cm)
1981	25/09/1981	1720	1665
1982	29/06/1982	2480	2425
1983	07/07/1983	2470	2415
1984	09/07/1984	2045	1990
1985	10/05/1985	1895	1840
1986	11/10/1986	1960	1905
1987	30/07/1987	2135	2080
1988	14/09/1988	2420	2365
1989	25/09/1989	2585	2530
1990	01/06/1990	2645	2590
1991	27/12/1991	1890	1835
1992	29/05/1992	2535	2480
1993	06/07/1993	2115	2060
1994	03/07/1994	1800	1745
1995	21/07/1995	1590	1535
1996	01/09/1996	1660	1605
1997	04/08/1997	2560	2505
1998	16/08/1998	2155	2100
1999	21/07/1999	1535	1480
2000	14/10/2000	2340	2285
2001	02/10/2001	2690	2635
2002	13/06/2002	2215	2160
2003	21/02/2003	2170	2115
2004	16/07/2004	1515	1460
2005	18/10/2005	2280	2225
2006	27/07/2006	1978	1923
2007	24/09/2007	2625	2570
2008	27/10/2008	2665	2610
2009	13/09/2009	2450	2395
2010	05/01/2010	2395	2340
2011	22/07/2011	2685	2630
2012	20/09/2012	2110	2055
2013	25/08/2013	2385	2330
2014	20/10/2014	2049	1994
2015	10/10/2015	2451	2396

Entre os 5 anos nos quais houve medição simultânea nos dois locais, o único ano que apresenta uma grande discrepância das medições do pico da cheia realizadas no porto fluvial e no posto fluviométrico 86870000, é o ano de 1982. Nesse ano, a maior cota do nível da água medida na régua do porto foi de 24,80 metros, no dia 29 de junho. Esta cota, medida na régua, corresponde a

uma altitude ortométrica de 24,25 metros, considerando que a altitude ortométrica do zero da régua do porto era -0,55 m. No mesmo ano, a maior cota medida na régua do antigo posto 86870000 foi 19,34 m, também no dia 29/06/1982. Esta cota, medida na régua do posto 86870000, corresponde à altitude ortométrica de 25,94 m, considerando que a altitude ortométrica do zero da régua do posto, naquele momento, era de 6,60 m.

Há, portanto, uma diferença de 1,69 metros (25,94 metros - 24,25 metros) na cota máxima medida em 1982 nos dois pontos de monitoramento. Essa diferença é alta demais para ser explicada pela declividade da linha d'água ao longo da distância que separa os dois pontos, que é de, aproximadamente, 1 km, conforme se observa na **Figura 2**. Além disso, nos outros 4 anos em que houve medições simultâneas nos dois locais, a diferença entre as cotas máximas anuais nunca foi maior do que 10 cm.

Para definir qual das duas medições está correta e qual está incorreta, ou se as duas medições estão incorretas é necessário recorrer a uma informação ou análise complementar. Isto é realizado no item 7, em que as duas medições são comparadas com a marca da inundação de 1982, existente no CEAT, cuja altitude ortométrica medida foi de 24,16 metros, que é um valor mais próximo da medição realizada no porto fluvial de Estrela (24,25 metros de altitude ortométrica ajustada a partir da medição realizada no porto) do que da medição realizada no antigo posto 86870000 (25,94 metros de altitude ortométrica). A diferença a altitude ortométrica obtida a partir da medição realizada no porto de Estrela (24,25 metros) e a altitude ortométrica da marca da inundação de 29 de junho de 1982 no CEAT (24,16 metros) é de 9 cm, o que pode ser considerada uma diferença pequena. Esta comparação sugere que, no ano de 1982, houve algum problema na medição do pico da cheia no posto fluviométrico 86870000 e que a medição da cota máxima da cheia realizada no porto de Estrela é mais confiável.

5.1 Extensão da série histórica de cotas máximas do Porto Fluvial de Estrela para o passado e a origem do nível de 29,92 metros para a cheia de 1941

O Porto Fluvial de Estrela foi inaugurado em 1977, quando também foi iniciada a série de medições do nível da água do rio Taquari no local. Portanto, no porto de Estrela só existem observações de monitoramento sistemático de 1977 em diante. Entretanto, em diversas publicações há referências à série de medições no porto fluvial de Estrela, em que são apresentados valores de cotas máximas de cheia em anos anteriores ao início das observações sistemáticas no local do porto (MORAES et al., 2023; SILVEIRA et al., 2023; MONTE, 2022; MORAES et al., 2018; KUREK, 2016; MORAES, 2015; ECKHARDT, 2008; GREINER, 2014; FERRI; TOGNI, 2012).

As referências a uma série de observações do porto de Estrela com valores anteriores ao início do monitoramento no porto referem-se, possivelmente, a uma série de valores estendidos com base em dados do antigo posto fluviométrico Lajeado (86870000), já que antes de 1977 não havia medições sistemáticas no local do Porto de Estrela, que só foi construído na década de 1970.

De acordo com o que foi possível constatar, a série de observações dos níveis das cheias do Porto Fluvial de Estrela foi estendida para o período anterior a 1977 na maioria das publicações, utilizando as cotas medidas na régua do antigo posto fluviométrico 86870000 somadas a um valor constante de 7,20 metros, durante todo o período de funcionamento do posto fluviométrico 86870000 (de 1939 a 1986). O valor de 7,20 metros corresponde, aproximadamente, a diferença entre a altitude ortométrica do zero da régua do antigo posto fluviométrico 86870000 ($Z1 = 6,60$ metros) e a altitude ortométrica do zero da régua do Porto Fluvial de Estrela ($Z2 = -0,55$ metros), conforme mostra a equação 2.

$$Z1 - Z2 = 6,60 - (-0,55) = 6,60 + 0,55 = 7,15 \quad (2)$$

A semelhança entre os dois valores (7,15 e 7,20 metros) sugere que o valor constante de 7,20 metros foi obtido com base na comparação direta da leitura simultânea do nível da água nas réguas dos dois pontos de monitoramento.

No entanto, esse valor de 7,20 m está em desacordo com a estimativa do zero da régua do posto 86870000 adotada por Rezende (1993), conforme descrito no item 4. Além disso, a utilização do valor 7,20 m como zero da régua do antigo posto fluviométrico 86870000 não leva em consideração que esse posto passou por mudança de localização, entre 1960 e 1961, e que nesta mudança de localização houve, também, uma alteração do zero da régua, conforme detalhado no item 4. Assim, a comparação das medições simultâneas nas duas réguas, realizada no final da década de 70 e início da década de 1980, não poderia ter sido utilizada para estimar a altitude ortométrica máxima das cheias que ocorreram antes de 1960.

Isto permite concluir que não está correta a cota máxima de 29,92 metros atribuída à enchente de 05 de maio de 1941, e que foi difundida em algumas publicações. Esse valor foi obtido somando a cota máxima da cheia de 1941, medida na régua linimétrica do posto fluviométrico 86870000 (22,72 m) (ver na **Tabela 2**), com a estimativa equivocada de 7,20 m da altitude ortométrica do zero da referida régua (22,72 m + 7,20 m = 29,92 m). No entanto, o nível de 29,92 m nunca foi medido em nenhuma enchente do rio Taquari, nem em Lajeado e nem em Estrela. O valor de 29,92 metros para a cheia de maio de 1941 não é correto nem quando se considera o nível como cota ortométrica (altitude medida na vertical a partir do geóide ou nível médio do mar), nem quando se considera a leitura da cota na régua linimétrica do Porto Fluvial de Estrela e nem no posto fluviométrico 86870000, que operou em Lajeado de 1939 até 1986.

A estimativa mais consistente para o nível máximo da cheia de 1941 no centro da cidade de Lajeado é o valor de altitude ortométrica de 28,32 m (22,72 m + 5,60 m => 28,32 m), conforme descrito com maior detalhamento no item 4.

No Item 7, onde é realizada uma análise de consistência entre as séries de medições e as marcas históricas, é apresentada uma comparação da altitude ortométrica (H) medida em campo na marca histórica da inundação de 1941 no prédio do CEAT com o nível da cota máxima dessa cheia obtida a partir dos dados do posto fluviométrico 86870000. Esta comparação confirma que o rio Taquari em Lajeado não atingiu 29,92 metros durante a cheia de 1941.

6 Avaliação dos dados do atual posto fluviométrico 86879300

O posto fluviométrico que está atualmente em funcionamento no trecho do rio Taquari entre as cidades de Lajeado e Estrela é o posto com código 86879300, denominado Estrela. O posto é de responsabilidade da ANA e é operado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), antiga CPRM. O posto conta com um sensor automático com telemetria, localizado no Porto Fluvial de Estrela (Ponto 5 da **Figura 2**), na margem esquerda do rio Taquari, e um conjunto de réguas linimétricas que ficam localizadas na margem oposta (direita) do rio Taquari, na região do centro histórico de Lajeado, em um local próximo à esquina das ruas Osvaldo Aranha e João Abott (Ponto 4 da **Figura 2**).

No ano de 2013, quando o SGB iniciou os estudos para implantação do sistema de monitoramento e alerta hidrológico na bacia hidrográfica do rio Taquari, foi implantada uma plataforma de coleta de dados (PCD), com um sensor de pressão para registro automático dos níveis no Porto Fluvial de Estrela (**Figura 9A**). Na instalação dos equipamentos, foi adotada a mesma referência de nível (RN) utilizada como base para a régua anteriormente operada pela equipe do porto e ilustrada na **Figura 10**. Isto significa que a altitude ortométrica do zero da régua do posto fluviométrico 86879300

também é -0,55 metros, ou -55 cm. A instalação da estação dessa forma foi uma alternativa para manter a coerência e a convergência com a série histórica dos níveis registrados pelo e no Porto Fluvial de Estrela.

Após quase 2 anos com problemas nos sensores da PCD devido à operação portuária de atracação das embarcações, em 2015 foi realizada uma intervenção estrutural no porto que permitiu o início dos registros telemétricos dos níveis do atual posto fluviométrico. Desse modo, com registro de 1 valor de nível a cada hora, a PCD permaneceu em operação até o início de 2021, quando foi substituída por um equipamento mais moderno que registra dados de 15 em 15 minutos. Nesse mesmo ano (2021), o SGB iniciou a operação convencional do posto fluviométrico 86879300, com a implantação das réguas linimétricas na margem de Lajeado (**Figura 9B**) e observador hidrológico para efetuação de dois registros diários (às 7h e 17h), bem como da realização de medições regulares da vazão e da qualidade da água no local.



Figura 9: Posto fluviométrico 86879300, com sensor de telemetria automática, localizado no Porto Fluvial de Estrela (A) e réguas linimétricas localizadas na escadaria entre as ruas Osvaldo Aranha e João Abott, na cidade de Lajeado (B).

Destaca-se que foi necessário instalar as réguas linimétricas na margem oposta da PCD, na cidade de Lajeado, uma vez que o acesso ao Porto Fluvial de Estrela é restrito e não há condição de realização de registros pelo observador hidrológico nos finais de semanas e feriados.

A **Tabela 4** apresenta os níveis máximos anuais das cheias registradas na estação fluviométrica 86879300 no período de 2015 até 2023, contemplando a data de ocorrência do evento, o nível máximo registrado e a altitude ortométrica correspondente do nível máximo da cheia, considerando que a altitude ortométrica do zero da régua é -55 cm. Desde o início da operação, em 2015, o atual posto fluviométrico 86879300 já registrou três grandes eventos de cheias (09/07/2020; 05/09/2023 e 18/11/2023).

Destaca-se também uma iniciativa da Associação Comercial e Industrial de Lajeado (ACIL), que ocorreu após a cheia de julho de 2020, operacionalizado pela Univates e posteriormente convalidado pela SGB-CPRM, de instalar uma régua linimétrica na lateral do prédio da ACIL (ponto 7 na **Figura 2**), usando os mesmos níveis de referência e parâmetros de instalação da estação fluviométrica 86879300 (ACIL, 2020). Esta iniciativa foi relevante, pois com a perda da PCD e a

dificuldade de acesso às réguas linimétricas durante as inundações em setembro e novembro de 2023, as leituras horárias do nível registradas foram lidas diretamente na régua linimétrica instalada na ACIL.

Tabela 4: Cotas máximas anuais do rio Taquari no atual posto fluviométrico 86879300, no período de 2015 até 2023, contemplando a data de ocorrência do evento, o nível máximo registrado na régua e a altitude ortométrica correspondente, considerando o ajuste da altitude ortométrica do zero da régua em -55 cm.

Ano	Data da maior enchente anual	Cota máxima medida na régua (cm)	Altitude ortométrica máxima (cm)
2015	10/10/2015	2428	2373
2016	20/10/2016	2493	2438
2017	09/06/2017	2392	2337
2018	04/10/2018	1851	1796
2019	05/11/2019	2234	2179
2020	09/07/2020	2739	2684
2021	28/06/2021	1599	1544
2022	04/05/2022	2057	2002
2023	05/09/2023	2953	2898

Na cheia de 05 de setembro de 2023, foi registrado o nível máximo de 29,53 m nas réguas linimétricas da estação fluviométrica 86879300, correspondendo à altitude ortométrica de 28,98 m. Esse nível de 29,53 m foi medido e confirmado pelo SGB-CPRM em levantamento topográfico complementar, com documentação em uma monografia de levantamento (SGB, 2023).

Na cheia de 18 de novembro de 2023, outro evento de grande magnitude, foi registrado o nível de 28,94 m nas réguas linimétricas da mesma estação.

7 Análise de consistência entre as medições sistemáticas e as marcas históricas das inundações

Ao considerar que as informações sobre os níveis das cheias foram registradas de forma sistemática nas cidades de Lajeado e Estrela desde 1939, em diferentes locais, com diferentes níveis de referência para os valores dos zeros das réguas, com diferentes tecnologias e frequências de coleta, uma etapa importante para avaliar a confiabilidade das diferentes informações sobre os níveis máximos das cheias é a análise de consistência entre as diferentes fontes.

A análise de consistência é importante para que seja possível organizar e consolidar uma série histórica de cotas máximas das cheias em Lajeado, vinculadas com o mesmo referencial de nível para o zero das réguas linimétricas. A análise de consistência também é importante para compreender as diferenças de nível entre as cotas das cheias registradas nas estações fluviométricas com as marcas históricas das inundações na cidade de Lajeado, favorecendo a

compreensão social entre os dados do monitoramento sistemático com os locais atingidos na cidade.

No item 7.1 está apresentada uma análise da consistência entre os dados medidos no antigo posto fluviométrico Lajeado (código 86870000) e as marcas históricas existentes no CEAT. No item 7.2, análise semelhante é apresentada considerando as marcas históricas das inundações com os dados do monitoramento sistemático realizado no Porto Fluvial de Estrela de 1980 a 2015, integrado com as informações registradas pelo atual posto fluviométrico 86879300, de 2015 a 2023.

7.1 Análise de consistência entre os dados do antigo posto fluviométrico 86870000 e as marcas históricas das inundações

A altitude ortométrica medida nas marcas das inundações do CEAT (ver **Tabela 1** no item 3.1) foi comparada com altitude ortométrica máxima atingida nos mesmos eventos de cheia, de acordo com os dados de monitoramento sistemático realizado no antigo posto fluviométrico 86870000 (ver **Tabela 2** no item 4). Conforme descrito no item 4, considerou-se que a altitude ortométrica do zero da régua do posto fluviométrico 86870000 era de 5,60 metros no período de 1939 a 1960, e 6,60 m, no período de 1961 até 1986, seguindo o que foi adotado por Rezende (1993).

Há cinco placas de marcas históricas de cheias afixadas no prédio do CEAT cujas datas coincidem com o período de operação do posto fluviométrico 86870000 (de 1939 a 1986). São elas as marcas com as inscrições 1940, 1941, 1956, 1965 e 1982. Além disso, com base em uma análise dos dados de monitoramento sistemático no porto, concluiu-se que a marca no CEAT com a inscrição 09/1987 provavelmente contenha o registro do nível máximo atingido pela água durante a grande cheia de 09/1967. Esta suposição é fortalecida porque em setembro de 1987 não ocorreu nenhuma cheia relevante no rio Taquari, como mostram as séries de dados dos postos fluviométricos de Muçum (86510000), de Encantado (86720000) e Taquari (86950000). Além disso, conforme se observou na comparação apresentada aqui, a altitude ortométrica da marca 09/1987 é praticamente igual à altitude ortométrica do nível máximo medido no antigo posto 86870000 durante a grande cheia de setembro de 1967.

Outra informação relevante é que existem duas marcas com a inscrição 1941 no CEAT. A mais alta está afixada no limite superior da viga do segundo andar, acima do pilar e do lado externo do prédio. A segunda está fixada no topo do pilar, imediatamente abaixo da viga. Consideramos que a marca no limite superior da viga é a correta para representar o nível máximo da inundação de maio de 1941, e que a marca no pilar tenha sido fixada apenas para tornar visível a ocorrência dessa inundação, que foi a maior durante mais de 70 anos e indicar a presença da outra marca localizada mais acima, com menor visibilidade.

Para cada uma das seis marcas de inundação foi identificada a medição do nível correspondente na série de dados do antigo posto fluviométrico 86870000 e a altitude ortométrica dos níveis máximos medidos no posto foram comparadas com as altitudes ortométricas da marca correspondente, através do cálculo da diferença, conforme se observa na **Tabela 5**.

Na **Tabela 5**, a primeira coluna apresenta a informação que está inscrita na placa da marca fixada no prédio do CEAT. A segunda coluna apresenta a data em que ocorreu o pico da cheia, de acordo com os dados do posto fluviométrico. A terceira coluna apresenta os valores da altitude ortométrica do nível da água máximo no posto 86870000 (**Tabela 2**). A quarta coluna apresenta os valores de altitude ortométrica das marcas das inundações (**Tabela 1**). Finalmente, a quinta coluna da **Tabela 5** apresenta a diferença entre as altitudes ortométricas medidas no posto fluviométrico e na marca.

Tabela 5: Comparação entre a altitude ortométrica das marcas históricas encontradas no CEAT e a altitude ortométrica dos níveis máximos do rio Taquari nos eventos correspondentes obtidos do monitoramento sistemático no antigo posto fluviométrico 86870000.

Inscrição na marca do CEAT	Data do pico da cheia	Altitude ortométrica do nível da água máximo no posto 86870000 (m)	Altitude Ortométrica da marca no CEAT (m)	Diferença (Posto 86870000 - CEAT) (m)
1941	05/05/1941	28,32	28,49	-0,17
1940	17/07/1940	24,80	27,32	-2,52
1956	05/04/1956	27,26	27,03	0,23
1965	21/08/1965	25,30	25,32	-0,02
09/1987*	21/09/1967	25,00	24,91	0,09
1982	29/06/1982	25,94	24,16	1,78

* A marca com a inscrição 09/1987 provavelmente refere-se à inundação ocorrida em 21 de setembro de 1967 e não setembro de 1987, conforme comentado no texto, tendo havido erro de grafia na fixa o da placa.

Conforme mostra a **Tabela 5**, as diferenças são menores ou iguais a 23 cm em 4 das 6 marcas. As exce oes são a marca de 1940 e a marca de 1982, em que as diferenças são, respectivamente, - 2,52 e +1,78 metros. Diferenças da ordem de 23 cm, ou menos, podem ser consideradas pequenas, considerando que resultam de medi oes independentes, em pontos diferentes do rio ou da área inundada. Já diferenças como as encontradas nos casos de 1940 e 1982 requerem uma análise mais detalhada.

A análise do caso de 1982   mais fácil, porque entre 1981 e 1985 estavam sendo operados, de forma simultânea, dois pontos de monitoramento sistemático no trecho do rio Taquari entre Lajeado e Estrela: o antigo posto 86870000 e a régua do Porto de Estrela. Em 1981, 1983, 1984 e 1985 os níveis máximos das cheias nos dois pontos de monitoramento, quando convertidos para altitudes ortométricas, diferem de uns poucos centímetros. Já no ano de 1982, a diferença   de 1,69 metros, sugerindo que em pelo menos um dos locais há um erro na medi ao, conforme discutido no item 5.

Em 1982, o nível máximo da cheia medida no posto fluviométrico 86870000 corresponde   altitude ortométrica de 25,94 metros, enquanto o nível máximo observado na régua do porto fluvial corresponde   altitude ortométrica de 24,25 metros. Observa-se, na **Tabela 5**, que a altitude ortométrica da marca de 1982 no CEAT corresponde, com apenas 9 centímetros de diferença,   altitude ortométrica do nível máximo medido no porto fluvial. Esta pequena diferença sugere que em 1982 houve um erro na medi ao das cotas no posto fluviométrico 86870000, e que a marca histórica afixada no prédio do CEAT está numa posi o aproximadamente correta.

A marca histórica com a inscri o 1940 está em uma altitude ortométrica de 27,32 metros, o que   2,52 metros a mais do que a altitude ortométrica correspondente ao nível da água máximo medido no posto fluviométrico 86870000 durante a cheia de julho de 1940, a maior daquele ano. De acordo com a posi o da marca histórica no CEAT, a cheia de 1940 teria atingido um nível quase 30 cm mais alto do que a cheia de 1956. No entanto, essa informa o não   confirmada pelos relatos sobre a magnitude relativa das cheias na cidade de Lajeado, que sempre citam as cheias de 1941 e de 1956 como as mais importantes, pelo menos nos relatos anteriores às grandes inunda oes de 2020 e 2023, e que tipicamente não citam a cheia de 1940. Isto sugere que a marca no CEAT indicando o nível máximo da cheia de 1940 talvez tenha sido colocada na altura errada, ou que a inscri o indicando 1940 pode ter sido equivocada (como   o caso da marca indicando 09/1987).

Uma análise regional, usando como apoio os dados de cotas máximas observadas no posto fluviométrico Bom Retiro do Sul, conforme Rezende (1993), confirma que a cheia de 1956 foi superior à cheia de 1940, e não o contrário, como as marcas históricas do CEAT sugerem. Isso reforça a conclusão de que a marca de 1940 no CEAT foi colocada em uma altura equivocada, ou que a marca com a inscrição 1940 refere-se a alguma outra enchente histórica e que tenha ocorrido um erro na grafia da marca.

Considerando as pequenas diferenças apresentadas na última coluna da **Tabela 5**, exceto para os casos de 1940 e 1982, para os quais foram encontradas explicações plausíveis, a comparação entre as marcas históricas do CEAT e o monitoramento sistemático no antigo posto fluviométrico 86870000 reforçam a confiança na informação deduzida a partir do relatório de Rezende (1993), de que a altitude ortométrica do zero da régua do antigo posto fluviométrico era 5,60 m entre 1939 e 1960 e 6,60 m entre 1961 e 1986.

Particularmente relevante é a quase coincidência do nível máximo atingido durante a cheia de 1941, de acordo com as marcas e o monitoramento sistemático. A placa fixada na viga, acima do pilar, no lado externo do prédio, tem uma altitude ortométrica de 28,49 m. Para o mesmo evento, a medição sistemática no antigo posto fluviométrico 86870000, quando convertida para altitude ortométrica, apresenta o valor de 28,32 metros. A diferença é de apenas 17 centímetros entre as duas estimativas, o que reforça a veracidade de ambas, já que foram obtidas de forma independente, em locais diferentes.

Uma segunda marca no prédio do CEAT, afixada no pilar logo abaixo da viga, também apresenta a inscrição 1941. A altitude ortométrica dessa segunda marca é de 28,18 metros. Assim, é interessante observar que as duas marcas históricas relativas a 1941, com altitudes ortométricas de 28,49 m (limite superior da viga) e 28,18 m (topo do pilar ou limite inferior da viga), definem um intervalo que contém o valor de 28,32 m, obtido a partir dos dados do antigo posto fluviométrico 86870000. Isto sugere que a altitude ortométrica de 28,32 metros pode ser considerada uma informação confiável sobre o nível máximo atingido pelo rio Taquari, em frente ao centro histórico de Lajeado, na grande cheia de 1941.

7.2 Análise de consistência entre os dados do Porto Fluvial de Estrela e do posto fluviométrico 86879300 com as marcas históricas das inundações

De forma semelhante à apresentada no item 7.1, a altitude ortométrica medida nas marcas das inundações encontradas no CEAT (**Tabela 1**) foi comparada com as altitudes ortométricas correspondentes aos níveis máximos medidos nas régua do Porto Fluvial de Estrela (1980 até 2015) e do posto fluviométrico 86879300 (2015 até 2023). Conforme detalhado nos itens 5 e 6, para obter a altitude ortométrica dos níveis das cheias registradas no porto de Estrela e no atual posto fluviométrico 86879300, considerou-se que a altitude do zero das régua era -0,55 metros.

A **Tabela 6** apresenta a comparação e a diferença de nível entre altitudes ortométricas dos níveis máximos das cheias ajustados no Porto Fluvial de Estrela e no posto fluviométrico 86879300 e as altitudes ortométricas das marcas das inundações no CEAT. Na **Tabela 6**, a primeira coluna apresenta a informação que está inscrita na placa da marca afixada no prédio do CEAT. A segunda coluna apresenta a data em que ocorreu o pico da cheia, de acordo com os dados do monitoramento sistemático. A terceira coluna apresenta os valores da altitude ortométrica ajustada do nível da água máximo no monitoramento do porto ou do posto 86879300, nos eventos correspondentes à marca histórica. A quarta coluna apresenta os valores de altitude ortométrica das marcas do CEAT. Finalmente, a quinta coluna apresenta a diferença entre as altitudes ortométricas medidas no monitoramento sistemático e na marca histórica.

Há 12 marcas históricas no CEAT com datas que correspondem ao período entre 1980 e 2015, que foi o período em que houve medições no porto fluvial de Estrela, e mais 3 marcas de inundações com datas que correspondem ao período de 2015 até 2023, período em que houve monitoramento no posto fluviométrico 86879300. Em alguns anos há duas marcas, indicando que houve duas cheias importantes. Esse é o caso de 1989, 2001, 2007, 2011 e 2023.

Tabela 6: Comparação entre a altitude ortométrica das marcas históricas encontradas no CEAT e a altitude ortométrica dos níveis máximos do rio Taquari, nos eventos correspondentes, obtidos do monitoramento sistemático no porto de Estrela (1980 até 2015) ou no atual posto fluviométrico 86879300 (2015 até 2023).

Inscrição na marca do CEAT	Data do pico da cheia	Altitude ortométrica do nível da água máximo no porto fluvial ou no posto 86879300 (m)	Altitude Ortométrica da marca no CEAT (m)	Diferença (Posto - CEAT) (m)
09/2023	05/09/2023*	28,98	29,00	-0,02
11/2023	18/11/2023*	28,39	28,49	-0,10
07/2020	09/07/2020*	26,84	26,90	-0,06
10/2001	02/10/2001	26,35	26,32	0,03
07/2011	21/07/2011	26,30	26,21	0,09
2008	27/10/2008	26,10	26,00	0,10
1990	01/06/1990	25,90	25,92	-0,02
07/2001	21/07/2001	25,65	25,72	-0,07
09/2007	24/09/2007	25,70	25,67	0,03
1989	25/09/1989	25,30	25,23	0,07
09/1989	13/09/1989	24,65	24,57	0,08
1982	29/06/1982	24,25	24,16	0,09
08/2011	10/08/2011	24,05	24,01	0,04
09/2009	13/09/2009	23,95	23,91	0,04
07/2007	11/07/2007	23,90	23,85	0,05

* Cotas registradas no posto fluviométrico 86879300.

Conforme já descrito no Item 7.1, mas importante reforçar, é muito provável que a placa do CEAT com a inscrição 09/1987, com altitude ortométrica de 24,91 m, esteja fixada na posição correta, mas tenha um erro na grafia da inscrição. Há fortes evidências de que essa placa seja, na verdade, uma marca da inundação que ocorreu em setembro de 1967. Por este motivo, a marca com a inscrição 09/1987 foi comparada com a medição sistemática do antigo posto 86870000, na **Tabela 5**, e não foi incluída na **Tabela 6**.

A última coluna da **Tabela 6** mostra que a diferença dos níveis no monitoramento sistemático e nas marcas das inundações tem sido sempre menor ou igual a 10 cm desde 1982. Isto reforça a

confiança tanto nas marcas históricas como nas medições sistemáticas, já que as diferenças são relativamente pequenas, considerando que as medições são independentes e em locais diferentes.

Em outras palavras, pode-se dizer que os níveis máximos de cheias obtidas pelo monitoramento sistemático no Porto Fluvial de Estrela (1980 - 2015), no posto fluviométrico 86879300 (2015 - 2023) e as marcas das inundações no CEAT são consistentes entre si e que as diferenças observadas não são expressivas.

8 Série histórica consistida das cotas máximas anuais das cheias registradas em Lajeado de 1940 a 2023

A análise estatística de probabilidades de inundação parte, normalmente, de uma série histórica de cotas ou vazões máximas anuais. Esta série de máximos anuais facilita a estimativa do tempo de retorno dos diferentes níveis de cheias e permite a geração das cartas de inundação associadas a diferentes probabilidades de ocorrência.

Com base nos dados dos três diferentes sistemas de monitoramento que já operaram no trecho do rio Taquari, junto ao centro da cidade de Lajeado, e com o apoio das marcas históricas registradas no prédio do CEAT, é possível compor uma série temporal das cotas máximas anuais do rio Taquari em Lajeado, no período de 84 anos que se estende entre 1940 e 2023. Os três sistemas de monitoramento são: 1) Antigo posto fluviométrico 86870000; 2) Réguas de monitoramento do Porto Fluvial de Estrela; 3) Atual posto fluviométrico 86879300.

Para formar uma série temporal homogênea, de tal forma que as medições realizadas em diferentes locais e períodos de tempo possam ser comparadas entre si, todos os valores de cotas máximas medidas nas réguas (termo R na equação 1) foram transformados para altitude ortométrica (termo H na equação 1), utilizando a equação 1 e o respectivo valor da altitude ortométrica do zero da régua (termo Z na equação 1), conforme metodologia discutida nos itens anteriores e resumida na **Tabela 7**.

Tabela 7: Altitude ortométrica do zero das réguas adotado para converter cotas máximas arbitrárias (R) medidas nas réguas dos diferentes pontos de monitoramento sistemático do rio Taquari, no trecho em frente ao centro histórico de Lajeado, para altitudes ortométricas (H).

Ponto de monitoramento sistemático	Período de medição	Altitude ortométrica do zero da régua (m)	Fonte da informação da altitude do zero da régua
Antigo posto 86870000 posição 1	1939 a 1960	5,60	Rezende (1993); confirmado por comparação com marcas históricas
Antigo posto 86870000 posição 2	1961 a 1986	6,60	Rezende (1993); confirmado por comparação com marcas históricas
Porto Fluvial de Estrela	1977 a 2015	-0,55	CPRM (2015)
Posto fluviométrico atual 86879300	2015 - 2023	-0,55	CPRM (2015)

A **Tabela 8** apresenta os valores do nível máximo de cada ano do rio Taquari, no trecho em frente ao centro histórico de Lajeado, no período de 1940 a 2023. Os valores são apresentados como altitudes ortométricas (H) do nível máximo anual na terceira coluna. De forma complementar e para facilitar a comparação com as observações atuais, os valores de níveis máximos anuais são apresentados, na última coluna, em termos de cota que seria medida na régua física (R) do posto 86879300, atualmente em operação no local (**Figura 9**).

Em alguns anos houve operação simultânea de dois pontos de monitoramento, resultando, muitas vezes, em dois valores diferentes para uma mesma cheia. Nestes casos foi escolhido o valor considerado mais confiável, com base nas discussões apresentadas nos itens anteriores e a fonte adotada é apresentada na segunda coluna da **Tabela 8**.

Tabela 8: Série histórica consolidada das altitudes ortométricas dos níveis máximos anuais das cheias do rio Taquari, de 1939 a 2023, no trecho em frente ao centro histórico de Lajeado e as cotas equivalentes na régua do posto fluviométrico atualmente existente, com base nos dados do antigo posto fluviométrico 878670000, do monitoramento do Porto Fluvial de Estrela e do atual posto fluviométrico 86879300.

Ano	Fonte considerada	Altitude Ortométrica do nível máximo anual (m)	Cota equivalente na régua do atual posto 86879300
1939	Antigo posto 86870000 posição 1	18,20	18,75
1940	Antigo posto 86870000 posição 1	24,80	25,35
1941	Antigo posto 86870000 posição 1	28,32	28,87
1942	Antigo posto 86870000 posição 1	22,30	22,85
1943	Antigo posto 86870000 posição 1	14,06	14,61
1944	Antigo posto 86870000 posição 1	21,06	21,61
1945	Antigo posto 86870000 posição 1	17,60	18,15
1946	Antigo posto 86870000 posição 1	25,80	26,35
1947	Antigo posto 86870000 posição 1	15,50	16,05
1948	Antigo posto 86870000 posição 1	19,00	19,55
1949	Antigo posto 86870000 posição 1	17,70	18,25
1950	Antigo posto 86870000 posição 1	24,73	25,28
1951	Antigo posto 86870000 posição 1	17,46	18,01
1952	Antigo posto 86870000 posição 1	13,75	14,30
1953	Antigo posto 86870000 posição 1	21,51	22,06
1954	Antigo posto 86870000 posição 1	25,75	26,30
1955	Antigo posto 86870000 posição 1	18,71	19,26
1956	Antigo posto 86870000 posição 1	27,26	27,81
1957	Antigo posto 86870000 posição 1	21,25	21,80
1958	Antigo posto 86870000 posição 1	20,20	20,75
1959	Antigo posto 86870000 posição 1	25,03	25,58
1960	Antigo posto 86870000 posição 1	21,10	21,65
1961	Antigo posto 86870000 posição 2	22,20	22,75
1962	Antigo posto 86870000 posição 2	13,40	13,95
1963	Antigo posto 86870000 posição 2	22,10	22,65
1964	Antigo posto 86870000 posição 2	17,60	18,15

Ano	Fonte considerada	Altitude Ortométrica do nível máximo anual (m)	Cota equivalente na régua do atual posto 86879300
1965	Antigo posto 86870000 posição 2	25,30	25,85
1966	Antigo posto 86870000 posição 2	21,40	21,95
1967	Antigo posto 86870000 posição 2	25,00	25,55
1968	Antigo posto 86870000 posição 2	14,40	14,95
1969	Antigo posto 86870000 posição 2	14,70	15,25
1970	Antigo posto 86870000 posição 2	17,10	17,65
1971	Antigo posto 86870000 posição 2	22,10	22,65
1972	Antigo posto 86870000 posição 2	22,80	23,35
1973	Antigo posto 86870000 posição 2	21,60	22,15
1974	Antigo posto 86870000 posição 2	20,40	20,95
1975	Antigo posto 86870000 posição 2	19,20	19,75
1976	Antigo posto 86870000 posição 2	21,80	22,35
1977	Antigo posto 86870000 posição 2	23,30	23,85
1978	Antigo posto 86870000 posição 2	16,90	17,45
1979	Antigo posto 86870000 posição 2	18,80	19,35
1980	Antigo posto 86870000 posição 2	21,90	22,45
1981	Porto Fluvial de Estrela	16,65	17,20
1982	Porto Fluvial de Estrela	24,25	24,80
1983	Porto Fluvial de Estrela	24,15	24,70
1984	Porto Fluvial de Estrela	19,90	20,45
1985	Porto Fluvial de Estrela	18,40	18,95
1986	Porto Fluvial de Estrela	19,05	19,60
1987	Porto Fluvial de Estrela	20,80	21,35
1988	Porto Fluvial de Estrela	23,65	24,20
1989	Porto Fluvial de Estrela	25,30	25,85
1990	Porto Fluvial de Estrela	25,90	26,45
1991	Porto Fluvial de Estrela	18,35	18,90
1992	Porto Fluvial de Estrela	24,80	25,35
1993	Porto Fluvial de Estrela	20,60	21,15
1994	Porto Fluvial de Estrela	17,45	18,00
1995	Porto Fluvial de Estrela	15,35	15,90
1996	Porto Fluvial de Estrela	16,05	16,60
1997	Porto Fluvial de Estrela	25,05	25,60
1998	Porto Fluvial de Estrela	21,00	21,55
1999	Porto Fluvial de Estrela	14,80	15,35
2000	Porto Fluvial de Estrela	22,85	23,40
2001	Porto Fluvial de Estrela	26,35	26,90
2002	Porto Fluvial de Estrela	21,60	22,15
2003	Porto Fluvial de Estrela	21,15	21,70
2004	Porto Fluvial de Estrela	14,60	15,15
2005	Porto Fluvial de Estrela	22,25	22,80
2006	Porto Fluvial de Estrela	19,23	19,78
2007	Porto Fluvial de Estrela	25,70	26,25

Ano	Fonte considerada	Altitude Ortométrica do nível máximo anual (m)	Cota equivalente na régua do atual posto 86879300
2008	Porto Fluvial de Estrela	26,10	26,65
2009	Porto Fluvial de Estrela	23,95	24,50
2010	Porto Fluvial de Estrela	23,40	23,95
2011	Porto Fluvial de Estrela	26,30	26,85
2012	Porto Fluvial de Estrela	20,55	21,10
2013	Porto Fluvial de Estrela	23,28	23,83
2014	Porto Fluvial de Estrela	19,94	20,49
2015	Porto Fluvial de Estrela	23,96	24,51
2016	Posto fluviométrico 86879300	24,38	24,93
2017	Posto fluviométrico 86879300	23,37	23,92
2018	Posto fluviométrico 86879300	17,98	18,53
2019	Posto fluviométrico 86879300	21,79	22,34
2020	Posto fluviométrico 86879300	26,84	27,39
2021	Posto fluviométrico 86879300	15,44	15,99
2022	Posto fluviométrico 86879300	20,02	20,57
2023	Posto fluviométrico 86879300	28,98	29,53

A série de dados de altitudes ortométricas dos níveis máximos anuais (terceira coluna da **Tabela 8**) é apresentada graficamente na **Figura 10**. A série de dados de cotas máximas equivalentes que foram medidas no posto fluviométrico atualmente em operação, entre 2016 e 2023, e que teriam sido medidas, caso este mesmo posto já existisse entre 1940 e 2015, e que corresponde aos dados da última coluna da **Tabela 8**, é apresentada na **Figura 11**.

Observa-se, na **Tabela 8** e nos dois gráficos, que a cheia de setembro de 2023 é a maior da série de monitoramento sistemático, superando em 66 cm a cheia de 1941, que era, até então, a maior cheia da série histórica. Esse valor de 66 cm é maior do que o valor da diferença constatada entre as marcas de cheia no CEAT, que foi de 51 cm. Entretanto, a ordem de grandeza da diferença dos dois valores é semelhante. Isto confirma, com monitoramento sistemático, que a cheia de setembro de 2023 foi a maior cheia desde o início do monitoramento sistemático em Lajeado ou Estrela, conforme já havia sido constatado com marcas de cheia no item 3.2.

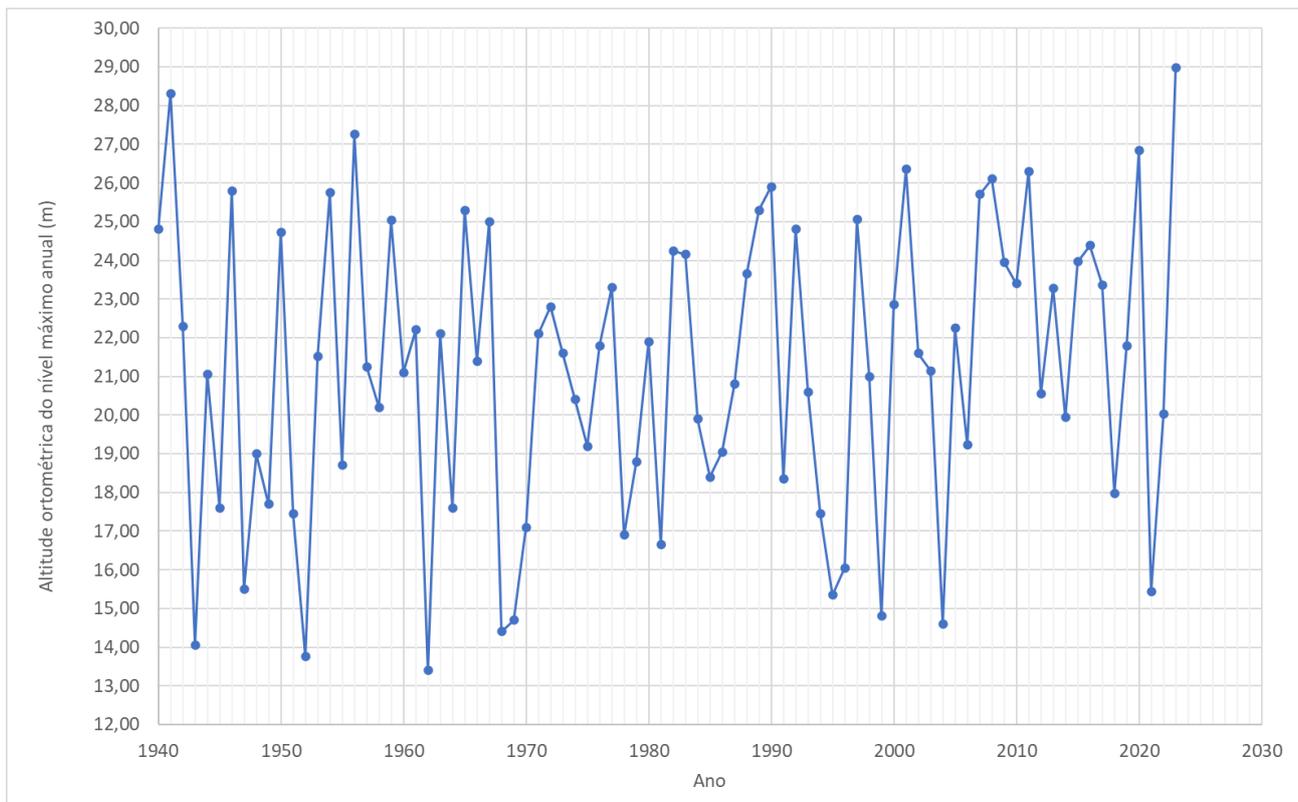


Figura 10: Série histórica consolidada das altitudes ortométricas dos níveis máximos anuais das cheias do rio Taquari, de 1939 a 2023, no trecho em frente ao centro histórico de Lajeado e as cotas equivalentes na régua do posto fluviométrico atualmente existente, com base nos dados do antigo posto fluviométrico 878670000, do monitoramento do Porto Fluvial de Estrela e do atual posto fluviométrico 86879300.

É possível que a cheia de setembro de 2023 possa vir a ser considerada a maior cheia da história, desde o início da colonização europeia da região de Lajeado. Para isso, os níveis máximos dessa cheia recente (2023) devem ser comparados com estimativas confiáveis do nível máximo atingido durante a cheia de 1873, que é citada em algumas referências como semelhante, ou até superior à cheia de 1941 (FERRI; TOGNI, 2012; SCHIERHOLT, 1992). Então, não é possível descartar que a cheia de 1873 tenha atingido níveis ainda mais altos do que a cheia de setembro de 2023.

Considerando que as marcas de 1912, 1919 e 1928, afixadas no pilar do prédio do CEAT, representam as maiores cheias ocorridas no rio Taquari em Lajeado, no período de 1873 até 1940, e que estas marcas estão em altitudes ortométricas inferiores àquela atingida pela cheia de Setembro de 2023, pode se dizer que a recente cheia de Setembro de 2023 foi a maior cheia do rio Taquari em Lajeado no período de, pelo menos, 150 anos, desde 1873 até 2023.

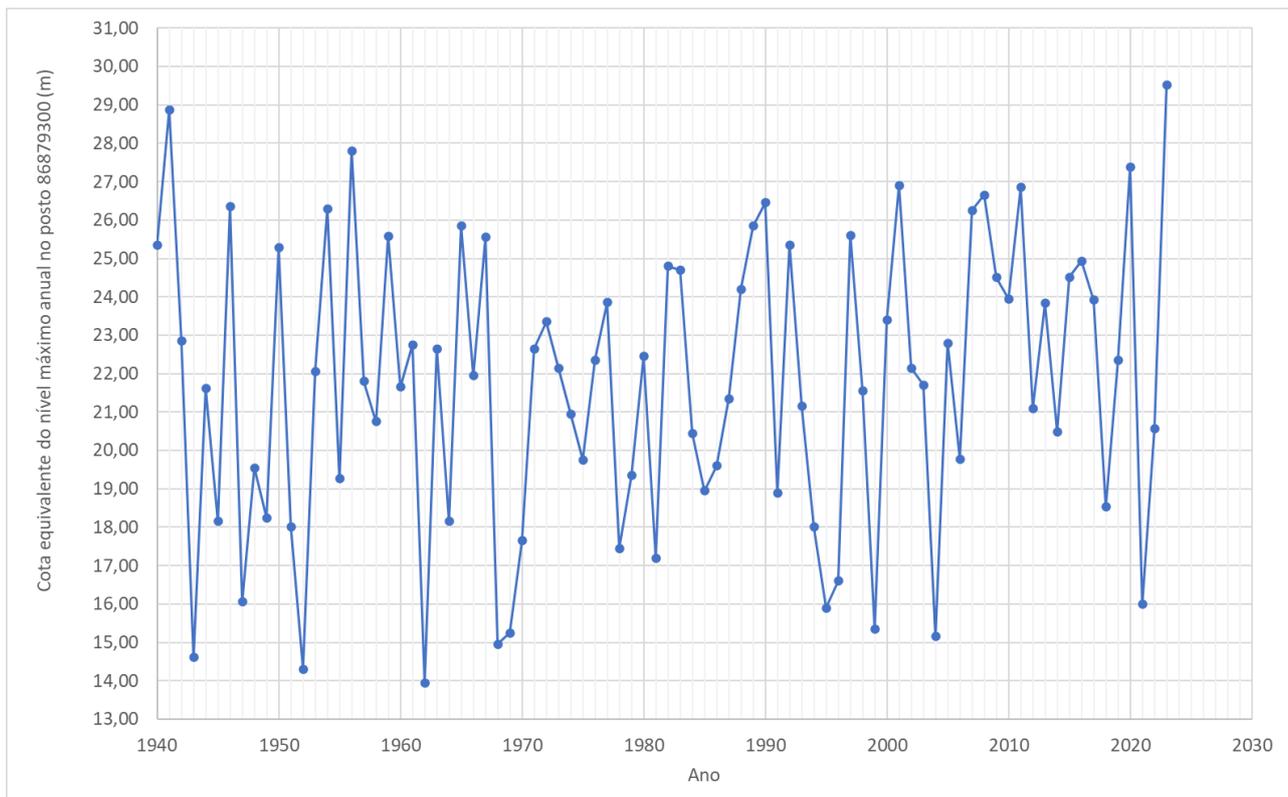


Figura 11: Gráfico da série histórica de cheias com cotas que foram medidas (2016 a 2023) ou estimadas (1940 a 2015) nas réguas do posto fluviométrico 86879300, atualmente em operação.

A **Figura 10** também mostra que períodos com maior ou menor frequência de cheias importantes tendem a se alternar na região. O período de 2001 a 2023 (23 anos) parece ter uma frequência relativamente alta de cheias, com seis anos em que a altitude ortométrica de 25 metros foi ultrapassada. Já o período de 1968 a 2000 (33 anos) apresenta apenas dois anos (1989 e 1990) em que as cheias superaram a altitude ortométrica de 25 metros.

9 Série histórica consolidada dos níveis das enchentes acima de 17 metros

A série de cotas máximas anuais, apresentada no item 8, é importante para facilitar a análise estatística de frequência das cheias. Entretanto, o rio Taquari, em Lajeado, assim como os demais rios no Sul do Brasil, tem um comportamento hidrológico aleatório, em que duas ou até mais cheias importantes podem ocorrer em um mesmo ano.

A série histórica de cotas máximas anuais, embora importante para a análise estatística, elimina do histórico as outras cheias importantes que ocorreram num mesmo ano. Em alguns casos, a segunda maior cheia de um ano pode ser maior do que muitas outras cheias máximas anuais. Isto foi exatamente o que ocorreu em 2023, quando a cheia de setembro, que é a maior dos últimos 150 anos, foi sucedida por outra cheia apenas 74 dias depois, em novembro de 2023, que igualou a grande cheia de 1941. Diversos outros anos também apresentaram pelo menos duas cheias relevantes, como 1989, 2001, 2007 e 2011, anos nos quais há duas marcas de cheias diferentes no prédio do CEAT (**Tabela 1**).

Numa série de cotas máximas anuais, a cheia de novembro de 2023 e diversas outras cheias importantes não estariam representadas, apesar da sua importância em termos de impacto

econômico e social na cidade de Lajeado. Para registrar todas as cheias relevantes, incluindo as segundas ou terceiras maiores cheias de cada ano, o procedimento usual é organizar uma tabela de todas as cheias que superaram um limiar arbitrário. Este procedimento é conhecido como Série de Duração Parcial, ou “*Peaks Over Threshold*” (Naghetini e Pinto, 2007).

O Sistema de Alerta Hidrológico (SAHs), desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB - CPRM), adota, em Lajeado, o limiar de 17,00 m como Cota de Alerta para possíveis inundações. Por este motivo, apresentamos, na **Tabela 9**, todas as cheias ocorridas desde 1939 até 2023 com altitude ortométrica máxima acima de 17,00 metros.

Tabela 9: Série histórica ajustada e consistida dos níveis de cheias (*Peaks over Threshold*) registradas em Lajeado como cotas ortométricas (H) acima de 17 metros, obtidas com base nos dados do antigo posto fluviométrico 878670000, do monitoramento do Porto Fluvial de Estrela e do atual posto fluviométrico 86879300.

Ano	Data da Cheia	Altitude ortométrica (H) da Cheia (m)	Nível original da cota registrada (m)	Fonte do registro e valor de ajuste (m)
1939	27/11/1939	18.20	12.60	878670000 (+5,60)
1940	17/07/1940	24.80	19.20	878670000 (+5,60)
	24/08/1940	20.62	15.02	878670000 (+5,60)
1941	05/05/1941	28.32	22.72	878670000 (+5,60)
	15/05/1941	21.72	16.12	878670000 (+5,60)
	28/07/1941	19.02	13.42	878670000 (+5,60)
	17/11/1941	24.33	18.73	878670000 (+5,60)
1942	19/05/1942	22.30	16.70	878670000 (+5,60)
	18/10/1942	18.70	13.10	878670000 (+5,60)
1944	25/06/1944	21.06	15.46	878670000 (+5,60)
1945	31/07/1945	17.60	12.00	878670000 (+5,60)
1946	26/01/1946	25.80	20.20	878670000 (+5,60)
	14/12/1946	17.32	11.72	878670000 (+5,60)
1948	02/08/1948	19.00	13.40	878670000 (+5,60)
1949	17/07/1949	17.70	12.10	878670000 (+5,60)
	21/09/1949	17.39	11.79	878670000 (+5,60)
1950	17/10/1950	24.73	19.13	878670000 (+5,60)
1951	19/10/1951	17.46	11.86	878670000 (+5,60)
1953	16/09/1953	21.51	15.91	878670000 (+5,60)
	02/10/1953	18.02	12.42	878670000 (+5,60)
	26/10/1953	19.72	14.12	878670000 (+5,60)
1954	11/06/1954	17.26	11.66	878670000 (+5,60)
	01/07/1954	20.62	15.02	878670000 (+5,60)
	22/07/1954	19.40	13.80	878670000 (+5,60)
	22/09/1954	25.75	20.15	878670000 (+5,60)
	18/10/1954	17.84	12.24	878670000 (+5,60)
1955	21/04/1955	17.34	11.74	878670000 (+5,60)
	19/05/1955	18.71	13.11	878670000 (+5,60)
	13/10/1955	17.84	12.24	878670000 (+5,60)
1956	05/04/1956	27.26	21.66	878670000 (+5,60)
	23/08/1956	17.23	11.63	878670000 (+5,60)
1957	18/08/1957	17.01	11.41	878670000 (+5,60)
	09/09/1957	21.25	15.65	878670000 (+5,60)
1958	13/06/1958	20.20	14.60	878670000 (+5,60)

Ano	Data da Cheia	Altitude ortométrica (H) da Cheia (m)	Nível original da cota registrada (m)	Fonte do registro e valor de ajuste (m)
	06/10/1958	19.10	13.50	878670000 (+5,60)
1959	27/04/1959	19.25	13.65	878670000 (+5,60)
	23/06/1959	25.03	19.43	878670000 (+5,60)
	29/08/1959	19.42	13.82	878670000 (+5,60)
1960	01/09/1960	21.10	15.50	878670000 (+5,60)
1961	21/06/1961	19.05	12.45	878670000 (+6,60)
	07/09/1961	17.95	11.35	878670000 (+6,60)
	30/09/1961	22.20	15.60	878670000 (+6,60)
	26/10/1961	18.70	12.10	878670000 (+6,60)
1963	27/09/1963	19.30	12.70	878670000 (+6,60)
	11/10/1963	22.10	15.50	878670000 (+6,60)
1964	02/09/1964	17.60	11.00	878670000 (+6,60)
1965	21/08/1965	25.30	18.70	878670000 (+6,60)
	06/09/1965	22.60	16.00	878670000 (+6,60)
	11/09/1965	20.75	14.15	878670000 (+6,60)
	25/10/1965	17.40	10.80	878670000 (+6,60)
1966	16/07/1966	18.80	12.20	878670000 (+6,60)
	05/08/1966	21.40	14.80	878670000 (+6,60)
	02/09/1966	20.00	13.40	878670000 (+6,60)
	14/09/1966	17.90	11.30	878670000 (+6,60)
1967	25/08/1967	17.90	11.30	878670000 (+6,60)
	05/09/1967	17.40	10.80	878670000 (+6,60)
	20/09/1967	25.00	18.40	878670000 (+6,60)
1970	08/07/1970	17.10	10.50	878670000 (+6,60)
1971	16/03/1971	22.10	15.50	878670000 (+6,60)
	30/06/1971	17.30	10.70	878670000 (+6,60)
	14/08/1971	18.60	12.00	878670000 (+6,60)
1972	09/06/1972	19.30	12.70	878670000 (+6,60)
	20/07/1972	17.60	11.00	878670000 (+6,60)
	28/08/1972	22.80	16.20	878670000 (+6,60)
	20/09/1972	20.60	14.00	878670000 (+6,60)
1973	03/05/1973	19.40	12.80	878670000 (+6,60)
	23/07/1973	18.30	11.70	878670000 (+6,60)
	14/08/1973	17.90	11.30	878670000 (+6,60)
	19/09/1973	21.60	15.00	878670000 (+6,60)
1974	10/06/1974	20.40	13.80	878670000 (+6,60)
1975	11/08/1975	19.20	12.60	878670000 (+6,60)
	11/09/1975	17.88	11.28	878670000 (+6,60)
1976	09/08/1976	21.80	15.20	878670000 (+6,60)
1977	20/06/1977	17.56	10.96	878670000 (+6,60)
	02/08/1977	20.50	13.90	878670000 (+6,60)
	18/08/1977	23.30	16.70	878670000 (+6,60)
1979	07/10/1979	18.80	12.20	878670000 (+6,60)
	15/12/1979	17.20	10.60	878670000 (+6,60)
1980	30/07/1980	21.90	15.30	878670000 (+6,60)

Ano	Data da Cheia	Altitude ortométrica (H) da Cheia (m)	Nível original da cota registrada (m)	Fonte do registro e valor de ajuste (m)
	23/08/1980	21.15	21.70	Porto Estrela (-0,55)
	22/10/1980	17.95	18.50	Porto Estrela (-0,55)
	10/11/1980	18.15	18.70	Porto Estrela (-0,55)
1982	29/06/1982	24.25	24.80	Porto Estrela (-0,55)
	24/10/1982	22.15	22.70	Porto Estrela (-0,55)
	12/11/1982	20.65	21.20	Porto Estrela (-0,55)
1983	01/03/1983	17.85	18.40	Porto Estrela (-0,55)
	03/05/1983	19.85	20.40	Porto Estrela (-0,55)
	14/06/1983	17.55	18.10	Porto Estrela (-0,55)
	24/06/1983	17.40	17.95	Porto Estrela (-0,55)
	07/07/1983	24.15	24.70	Porto Estrela (-0,55)
	02/08/1983	19.71	20.26	Porto Estrela (-0,55)
	18/08/1983	22.29	22.84	Porto Estrela (-0,55)
1984	24/04/1984	16.85	17.40	Porto Estrela (-0,55)
	08/05/1984	19.30	19.85	Porto Estrela (-0,55)
	19/06/1984	18.25	18.80	Porto Estrela (-0,55)
	09/07/1984	19.90	20.45	Porto Estrela (-0,55)
	07/08/1984	18.43	18.98	Porto Estrela (-0,55)
	26/09/1984	17.00	17.55	Porto Estrela (-0,55)
	07/10/1984	18.35	18.90	Porto Estrela (-0,55)
1985	10/05/1985	18.40	18.95	Porto Estrela (-0,55)
	13/08/1985	17.17	17.72	Porto Estrela (-0,55)
1986	31/05/1986	16.75	17.30	Porto Estrela (-0,55)
	11/10/1986	19.05	19.60	Porto Estrela (-0,55)
	06/11/1986	18.10	18.65	Porto Estrela (-0,55)
	29/11/1986	17.95	18.50	Porto Estrela (-0,55)
1987	15/05/1987	19.10	19.65	Porto Estrela (-0,55)
	30/07/1987	20.80	21.35	Porto Estrela (-0,55)
	15/08/1987	19.10	19.65	Porto Estrela (-0,55)
1988	10/06/1988	17.70	18.25	Porto Estrela (-0,55)
	14/09/1988	23.65	24.20	Porto Estrela (-0,55)
	25/09/1988	21.80	22.35	Porto Estrela (-0,55)
1989	06/07/1989	20.10	20.65	Porto Estrela (-0,55)
	13/09/1989	24.65	25.20	Porto Estrela (-0,55)
	25/09/1989	25.30	25.85	Porto Estrela (-0,55)
1990	29/04/1990	17.48	18.03	Porto Estrela (-0,55)
	01/06/1990	25.90	26.45	Porto Estrela (-0,55)
	23/09/1990	18.10	18.65	Porto Estrela (-0,55)
	13/10/1990	21.55	22.10	Porto Estrela (-0,55)
1991	27/12/1991	18.35	18.90	Porto Estrela (-0,55)
1992	29/05/1992	24.80	25.35	Porto Estrela (-0,55)
	06/07/1992	18.30	18.85	Porto Estrela (-0,55)
1993	05/06/1993	18.05	18.60	Porto Estrela (-0,55)

Ano	Data da Cheia	Altitude ortométrica (H) da Cheia (m)	Nível original da cota registrada (m)	Fonte do registro e valor de ajuste (m)
	06/07/1993	20.60	21.15	Porto Estrela (-0,55)
	12/07/1993	18.43	18.98	Porto Estrela (-0,55)
1994	03/07/1994	17.45	18.00	Porto Estrela (-0,55)
1997	04/08/1997	25.05	25.60	Porto Estrela (-0,55)
	06/10/1997	17.30	17.85	Porto Estrela (-0,55)
	16/10/1997	19.15	19.70	Porto Estrela (-0,55)
	01/11/1997	18.25	18.80	Porto Estrela (-0,55)
1998	16/08/1998	21.00	21.55	Porto Estrela (-0,55)
	19/09/1998	17.80	18.35	Porto Estrela (-0,55)
2000	12/07/2000	17.95	18.50	Porto Estrela (-0,55)
	14/10/2000	22.85	23.40	Porto Estrela (-0,55)
2001	21/07/2001	25.65	26.20	Porto Estrela (-0,55)
	02/10/2001	26.35	26.90	Porto Estrela (-0,55)
2002	13/06/2002	21.60	22.15	Porto Estrela (-0,55)
	03/07/2002	18.45	19.00	Porto Estrela (-0,55)
	27/07/2002	17.15	17.70	Porto Estrela (-0,55)
2003	21/02/2003	21.15	21.70	Porto Estrela (-0,55)
	09/07/2003	19.10	19.65	Porto Estrela (-0,55)
	27/10/2003	20.19	20.74	Porto Estrela (-0,55)
	16/12/2003	19.75	20.30	Porto Estrela (-0,55)
2005	19/05/2005	20.20	20.75	Porto Estrela (-0,55)
	18/10/2005	22.25	22.80	Porto Estrela (-0,55)
2006	27/07/2006	19.23	19.78	Porto Estrela (-0,55)
2007	11/07/2007	23.90	24.45	Porto Estrela (-0,55)
	24/07/2007	17.85	18.40	Porto Estrela (-0,55)
	24/09/2007	25.70	26.25	Porto Estrela (-0,55)
2008	27/10/2008	26.10	26.65	Porto Estrela (-0,55)
2009	10/08/2009	20.95	21.50	Porto Estrela (-0,55)
	13/09/2009	23.95	24.50	Porto Estrela (-0,55)
	29/09/2009	21.10	21.65	Porto Estrela (-0,55)
2010	05/01/2010	23.40	23.95	Porto Estrela (-0,55)
	27/04/2010	17.65	18.20	Porto Estrela (-0,55)
	23/09/2010	20.95	21.50	Porto Estrela (-0,55)
2011	27/03/2011	18.95	19.50	Porto Estrela (-0,55)
	22/07/2011	26.30	26.85	Porto Estrela (-0,55)
	10/08/2011	24.05	24.60	Porto Estrela (-0,55)
2012	20/09/2012	20.55	21.10	Porto Estrela (-0,55)
2013	25/08/2013	23.30	23.85	Porto Estrela (-0,55)
	22/09/2013	18.41	18.96	Porto Estrela (-0,55)
2014	06/06/2014	19.34	19.89	Porto Estrela (-0,55)
	29/06/2014	18.06	18.61	Porto Estrela (-0,55)
	20/10/2014	19.94	20.49	Porto Estrela (-0,55)

Ano	Data da Cheia	Altitude ortométrica (H) da Cheia (m)	Nível original da cota registrada (m)	Fonte do registro e valor de ajuste (m)
2015	15/07/2015	20.80	21.35	Porto Estrela (-0,55)
	21/09/2015	21.55	22.10	Porto Estrela (-0,55)
	10/10/2015	23.96	24.51	Porto Estrela (-0,55)
	23/10/2015	17.17	17.72	Porto Estrela (-0,55)
2016	15/07/2016	21.79	22.34	86879300 (-0.55)
	20/10/2016	24.38	24.93	86879300 (-0.55)
2017	28/05/2017	20.48	21.03	86879300 (-0.55)
	09/06/2017	23.37	23.92	86879300 (-0.55)
	14/10/2017	19.15	19.70	86879300 (-0.55)
2018	04/10/2018	17.96	18.51	86879300 (-0.55)
2019	05/11/2019	21.79	22.34	86879300 (-0.55)
2020	01/07/2020	17.01	17.56	86879300 (-0.55)
	09/07/2020	26.84	27.39	86879300 (-0.55)
	13/07/2020	21.58	22.13	86879300 (-0.55)
2022	04/05/2022	20.02	20.57	86879300 (-0.55)
	30/05/2022	19.12	19.67	86879300 (-0.55)
	07/06/2022	18.99	19.54	86879300 (-0.55)
	23/06/2022	18.57	19.12	86879300 (-0.55)
2023	17/06/2023	17.66	18.21	86879300 (-0.55)
	13/07/2023	21.65	22.20	86879300 (-0.55)
	05/09/2023	28.98	29.53	86879300 (-0.55)
	08/10/2023	20.97	21.52	86879300 (-0.55)
	13/10/2023	19.36	19.91	86879300 (-0.55)
	18/10/2023	19.73	20.28	86879300 (-0.55)
	19/11/2023	28.39	28.94	86879300 (-0.55)

Posto Fluviométrico 878670000 => 28/09/1939 até 31/12/1986

Porto Fluvial de Estrela => 12/08/1980 até 31/12/2015

Posto Fluviométrico 86879300 => 29/07/2015 até atual

O período de 1939 até 2023 compreende uma série histórica de 85 anos de cheias no rio Taquari, na cidade de Lajeado, ao longo do qual ocorreram 189 eventos de cheias em que o nível da água superou 17,00 metros de altitude ortométrica. Em média, ocorreram mais de duas cheias por ano. Somente em 13 anos (1943, 1947, 1952, 1962, 1968, 1969, 1978, 1981, 1984, 1986, 1995, 1996, 1999, 2004 e 2021) não foram registrados cheias acima da altitude ortométrica de 17,00 metros.

Os anos de 1983, 1984 e 2023 são os anos em que ocorreram mais cheias, com 7 eventos por ano. O período recente dos anos de 2022 e 2023 foi um período com cheias frequentes, em que ocorreram, ao todo, 11 eventos, sendo que duas destas cheias figuram entre as 3 maiores e mais impactantes inundações que ocorreram em Lajeado desde 1939.

Uma outra forma importante de analisar os dados é organizar uma tabela em ordem crescente ou decrescente de magnitude. Neste sentido, a **Tabela 10** apresenta as 30 maiores cheias do rio Taquari, em Lajeado, em ordem decrescente de magnitude.

Tabela 10: Ranking das 30 maiores cheias que ocorreram na cidade de Lajeado, no período de 1939 até 2023, organizadas em ordem decrescente, com a respectiva fonte da informação.

Data	Altitude Ortométrica (H) da cheia (m)	Nível original observado (m)	Fonte do Registro e valor de ajuste (m)
05/09/2023	28.98	29.53	86879300 (-0,55)
19/11/2023	28.39	28.94	86879300 (-0,55)
05/05/1941	28.32	22.72	878670000 (+5,60)
05/04/1956	27.26	21.66	878670000 (+5,60)
09/07/2020	26.84	27.39	86879300 (-0,55)
02/10/2001	26.35	26.90	Porto Estrela (-0,55)
22/07/2011	26.30	26.85	Porto Estrela (-0,55)
27/10/2008	26.10	26.65	Porto Estrela (-0,55)
01/06/1990	25.90	26.45	Porto Estrela (-0,55)
26/01/1946	25.80	20.20	878670000 (+5,60)
22/09/1954	25.75	20.15	878670000 (+5,60)
24/09/2007	25.70	26.25	Porto Estrela (-0,55)
21/07/2001	25.65	26.20	Porto Estrela (-0,55)
21/08/1965	25.30	18.70	878670000 (+6,60)
25/09/1989	25.30	25.85	Porto Estrela (-0,55)
04/08/1997	25.05	25.60	Porto Estrela (-0,55)
23/06/1959	25.03	19.43	878670000 (+5,60)
20/09/1967	25.00	18.40	878670000 (+6,60)
17/07/1940	24.80	19.20	878670000 (+5,60)
29/05/1992	24.80	25.35	Porto Estrela (-0,55)
17/10/1950	24.73	19.13	878670000 (+5,60)
13/09/1989	24.65	25.20	Porto Estrela (-0,55)
20/10/2016	24.38	24.93	86879300 (-0,55)
17/11/1941	24.33	18.73	878670000 (+5,60)
29/06/1982	24.25	24.80	Porto Estrela (-0,55)
07/07/1983	24.15	24.70	Porto Estrela (-0,55)
10/08/2011	24.05	24.60	Porto Estrela (-0,55)
10/10/2015	23.96	24.51	Porto Estrela (-0,55)
13/09/2009	23.95	24.50	Porto Estrela (-0,55)
11/07/2007	23.90	24.45	Porto Estrela (-0,55)

Observa-se, na **Tabela 10**, que as cheias de Setembro e Novembro de 2023 foram, respectivamente, a maior e a segunda maior cheia do rio Taquari, em Lajeado, no período de 85 anos entre 1939 e 2023. Além disso, é interessante notar que seis das oito maiores cheias ocorreram nos últimos 23 anos, depois do ano 2000, sugerindo que as últimas duas décadas, aproximadamente, foram especialmente ricas em cheias de grande magnitude. Um período anterior com alta frequência de grandes cheias parece ter ocorrido nas décadas de 1940 e 1950. Já a década de 1970 não apresenta nenhuma cheia entre as 30 maiores.

10 Conclusões

Em Lajeado (RS) o monitoramento sistemático do nível da água do rio Taquari apresenta algumas fragilidades, com registros fragmentados em função da criação e extinção de pontos de medição, resultando em três conjuntos relativamente independentes de dados, medidos por instituições diferentes e não exatamente no mesmo local. Em consequência disto, a elaboração e análise de uma série de dados homogênea e consistente é mais complexa do que seria caso as medições tivessem sido realizadas sempre no mesmo local, com a mesma metodologia. A falta de homogeneidade e padronização da série de medições sistemática torna difícil encontrar uma resposta para perguntas simples, como, por exemplo: qual foi a maior cheia na cidade nos últimos 100 anos?

Por outro lado, na cidade de Lajeado, existe a disponibilidade de uma fonte adicional de dados que são os registros não-sistemáticos, na forma de marcas de cheias registradas como placas fixadas em um prédio localizado na área inundável.

Nesta nota técnica analisamos a consistência entre as observações sistemáticas e as marcas físicas das cheias e inundações na cidade de Lajeado, e geramos uma série de cotas máximas anuais consistente ao longo do tempo. Através da revisão de relatórios técnicos, de fichas descritivas dos postos fluviométricos e da comparação de níveis da água medidos nos diferentes pontos de medição sistemática e nas marcas das inundações, encontramos os valores mais plausíveis da altitude ortométrica do zero da régua em que foram realizadas as medições em cada ano.

Utilizando os valores ajustados das altitudes ortométricas do zero das réguas e as cotas arbitrárias medidas nas réguas linimétricas, geramos a série de níveis máximos anuais de 1939 a 2023, e apresentamos esta série tanto em termos da altitude ortométrica do nível da água máximo em cada ano, como em termos da cota equivalente na régua do posto fluviométrico que está em operação, atualmente, no rio Taquari em Lajeado.

As comparações revelaram que a maior parte das marcas de cheia encontradas no pilar do prédio do CEAT, no centro da cidade, é consistente com as observações sistemáticas nos postos fluviométricos e no porto fluvial de Estrela. A única exceção é a marca da cheia de 1940, que está posicionada, no pilar do prédio do CEAT, mais de dois metros acima de onde deveria estar.

Com base nas informações colhidas, foi possível concluir que a cheia de setembro de 2023 superou a grande cheia de maio de 1941. Esta conclusão está baseada tanto na comparação das marcas das inundações existentes no prédio do CEAT, no centro da cidade, como em níveis observados em postos fluviométricos de monitoramento sistemático.

De acordo com o monitoramento sistemático nos postos fluviométricos, a cheia de setembro de 2023 atingiu um nível máximo 66 cm mais alto do que a cheia de 1941. Esta informação é confirmada pela comparação entre marcas das inundações no prédio do CEAT, apenas com uma

pequena variação na magnitude da diferença. De acordo com a comparação entre marcas das 2 cheias no prédio do CEAT, a inundação de setembro de 2023 superou, em 51 cm, a cheia de 1941 no centro da cidade de Lajeado. Além disso, a comparação de marcas recentes e marcas históricas no prédio do CEAT mostra que a cheia de Novembro de 2023 registrou, aproximadamente, o mesmo nível que a grande cheia de 1941.

A cota máxima da cheia de 05 de setembro de 2023, medida na régua do posto fluviométrico atualmente em operação no rio Taquari no trecho em frente ao centro histórico de Lajeado, é 29,53 metros. Esta cota máxima corresponde à altitude ortométrica de 28,98 metros. A cota máxima ajustada da cheia de 05 de maio de 1941, medida na régua do antigo posto fluviométrico que estava em operação na época no mesmo trecho do rio Taquari, é 22,72 m. Esta cota máxima corresponde à altitude ortométrica de 28,32 metros. Caso as régua do Porto de Estrela, ou caso o posto fluviométrico atualmente em operação (posto 86879300) estivessem em operação em 1941, a cota máxima que teria sido observada na régua seria de 28,87 metros.

Estes valores divergem do valor de 29,92 metros, que frequentemente é citado como a cota máxima para a cheia de 1941. A explicação para esta divergência foi encontrada nas análises realizadas na presente nota técnica e está relacionada a um erro na estimativa da altitude ortométrica do zero da régua do antigo posto fluviométrico 86870000, que estava em operação em 1941. O valor de 29,92 metros atribuído à cota máxima da cheia de 1941 está equivocado. Este valor não foi medido na régua que existia em 1941, nem teria sido medido caso já operasse em 1941 a régua que foi utilizada no porto fluvial de Estrela entre 1977 e 2015.

De acordo com os dados de monitoramento sistemático, o rio Taquari, durante a cheia de Setembro de 2023, atingiu 28,98 metros de altitude ortométrica, e durante a cheia de Maio de 1941 atingiu 28,32 metros. Isto significa que a cheia de Setembro de 2023 atingiu um nível 66 cm mais alto do que a cheia de Maio de 1941.

Com base nos resultados das análises concluímos que a cheia de Setembro de 2023 superou a grande cheia de Maio de 1941, com uma diferença de 51, se considerada a diferença entre as marcas de cheia no prédio do CEAT, ou de 66 cm, se considerada a diferença no monitoramento sistemático.

A série homogênea de cotas máximas e o ranking de cheias elaborado nesta nota técnica permitem concluir que a cheia de setembro de 2023 é, sem dúvida nenhuma, a maior cheia ocorrida no rio Taquari em Lajeado nos últimos 84 anos, desde o início do monitoramento sistemático em 1939.

Mais do que isso, é muito provável que a cheia de setembro de 2023 seja a maior ocorrida no rio Taquari desde, pelo menos, 1873, considerando válidas e representativas as marcas históricas das inundações fixadas no pilar do prédio do Colégio Evangélico Alberto Torres (CEAT).

Ainda não é possível afirmar com certeza, porém não é improvável que a cheia de setembro de 2023 tenha sido a maior cheia do rio Taquari em Lajeado em todo o período desde o início da colonização europeia na região, na segunda metade do século XIX. Para que isto possa ser afirmado, será necessário obter uma estimativa acurada do nível máximo atingido pelo rio Taquari durante a cheia de 1873, em um trabalho que ainda está em andamento.

É importante lembrar que, embora a análise apresentada aqui permita concluir que a cheia de 1941 não atingiu os 29,92 metros, e que o nível de 29,92 nunca foi atingido por nenhuma medição no período de 1939 até 2023, não é impossível que o rio Taquari, junto ao centro de Lajeado, não possa atingir o nível de 29,92 metros, ou valor semelhante, em uma futura cheia.

Também é extremamente relevante salientar que as altitudes ortométricas do nível da água apresentadas aqui são válidas para o curto trecho do rio Taquari entre o centro de Lajeado e o porto de Estrela. Em bairros de Lajeado localizados mais a montante, como Carneiros ou na região da Barra da Forqueta, o nível da água durante uma cheia é significativamente mais alto, em termos de altitude ortométrica, do que o nível medido no posto fluviométrico. Isto ocorre devido à grande declividade do nível da água do rio Taquari durante as cheias. Isto significa que, durante uma cheia em que o nível do rio Taquari atinge a altitude ortométrica máxima de 27,00 metros na régua do posto fluviométrico atualmente em operação, existem diversas áreas do município que podem ser inundadas, mesmo que a altitude ortométrica do terreno no local seja igual ou superior a 27,00 metros.

Para que a população consiga avaliar melhor os riscos da inundação, recomenda-se que seja realizado um estudo detalhado do comportamento do rio Taquari durante as cheias de grande magnitude, com ênfase para a análise da declividade da linha d'água, ao longo de todo o trecho no município. Além disso, recomenda-se que sejam elaboradas e disponibilizadas, de forma ampla e transparente, as chamadas cartas-enchente, que são mapas da área inundada correspondente a cada valor de referência medido na régua do posto fluviométrico.

Referências

- ACIL, 2020 Acil apresenta régua de sinalização histórica das cheias à comunidade.
<https://acilajeado.org.br/releases/acil-apresenta-regua-de-sinalizacao-historica-das-cheias-a-comunidade/>
- A Hora, 2022 Estiagem revela marcas em pedras feitas em 1943.
<https://grupoahora.net.br/conteudos/2022/01/13/estiagem-revela-marcas-em-pedras-feitas-em-1943/>
- Bombassaro, M., & de Souza Robaina, L. E. (2010). Contribuição geográfica para o estudo das inundações na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, RS. *Revista Geografias*, 69-86.
- Bösmeier, A. S., Himmelsbach, I., & Seeger, S. (2022). Reliability of flood marks and practical relevance for flood hazard assessment in southwestern Germany. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(9), 2963-2979.
- Both, G. C., Haetinger, C., Ferreira, E. R., Diedrich, V. L., & Fay de Azambuja, J. L. (2008). Uso da modelagem matemática para a previsão de enchentes no Vale do Taquari–RS. *Anais do Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental [CD-ROM]*.
- Brêda, J. P. L., de Paiva, R. C. D., Siqueira, V. A., & Collischonn, W. (2023). Assessing climate change impact on flood discharge in South America and the influence of its main drivers. *Journal of Hydrology*, 619, 129284.
- Bruski, S. D., Tognoli, F. M. W., & de Araújo, T. P. (2020). Geotecnologias no contexto das cidades mais resilientes: zoneamento das áreas de risco a inundações como ferramenta de planejamento urbano. *Engenharia Urbana em Debate*, 1(1), 30-57.
- CEPED-RS 2017 Desenvolvimento e apoio à implantação de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na Bacia do Taquari-Antas - RS.

Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Chagas, A., Castilho, A. S., Pedrollo, M., Germano, A., & Soterio, P. (2014, September). The warning flood system in Taquari River basin. In 6th International Conference on Flood Management (Vol. 6).
- Collischonn, W., Fan, F. M., Fleischmann, A. S., Moraes, S. R., Giacomelli, L. V. Z., & Siqueira, V. A. (2021). Análise da antecedência mínima necessária para previsões de inundações em Lajeado no Rio Taquari, RS. Encontro Nacional de Desastres (2.: 2020: Porto Alegre, RS, etc.).[Anais].[Porto Alegre: ABRHidro, 2021].
- CPRM 2015 Monografia do Marco: 86879300 - Estrela, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil, Porto Alegre.
- De Brito, M. M., Evers, M., & Almoradie, A. D. S. (2018). Participatory flood vulnerability assessment: a multi-criteria approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 373-390.
- Eckhardt, R. R., Saldanha, D. L., & Rocha, R. D. S. (2008). Modelo Cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas urbanas sujeitas às inundações na cidade de Lajeado/RS. *Revista Brasileira de Cartografia*.
- Eckhardt, R. R. (2008). Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS. Dissertação de Mestrado. CEPSRM-UFRGS.
- Ferri, G. A., e Togni, A. C. (2012). A história da bacia hidrográfica Taquari-Antas. Lajeado: Ed. da Univates.
- Finck, J. S. (2020). Previsão em tempo atual de níveis fluviais com redes neurais artificiais: aplicação à bacia do Rio Taquari-Antas/RS.
- Finck, J. S., & Correa Pedrollo, O. (2021). Facing losses of telemetric signal in real time forecasting of water level using artificial neural networks. *Water Resources Management*, 35(3), 1119-1133.
- Grandi, A.; Porto, F. C.; Baldissera, M. B.; Brenner, N. T.; Krahn, P. F. S.; Thiele, S. (organizadores) 2010 Marques de Souza conta suas histórias da enchente de 04 de janeiro de 2010. Escola Municipal de Ensino Fundamental Carlos Gomes. Marques de Souza.
- Greiner, C. (2014). Avaliação do referencial de nível das inundações da cidade de Lajeado/RS com relação à régua linimétrica do Porto de Estrela/RS.
- Guimaraens, R. A Enchente de 41, Porto Alegre: Libretos, 2013. 100 p.
- Hoppe, W. H. (2022). Enchentes do Rio Taquari: Análise histórica e ambiental do município de Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil (1970-2000).
- Krummenauer, A. (2014). Avaliação da capacidade de amortecimento de vazões pelas usinas hidrelétricas na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas/RS. Trabalho de Conclusão de Curso, IPH-UFRGS.

- Kurek, R. K. M. 2016 Análise das inundações no Vale do Taquari/RS como subsídio à elaboração de um modelo de previsão. Dissertação de Mestrado. UFSM.
- Laipelt, L.; Paiva, R.; Fan, F.; Ruhoff, A.; Collischonn, W.; Moraes, S.R.; Eckhardt, R. Estimativa preliminar das áreas urbanas inundadas durante a cheia do Rio Taquari-Antas (Set-2023) via sensoriamento remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul & Universidade do Vale do Taquari. Setembro de 2023.
- Martinbiancho, G. K., Medeiros, M. S., Fleischmann, A. S., Dornelles, F., Fan, F. M., Paiva, R. C. D. D., ... & Collischonn, W. (2018). Aplicação preliminar do modelo hidrológico MGB-IPH para análise do evento extremo de cheia em 1941 no estado do Rio Grande do Sul. Encontro Nacional de Desastres (1.: 2018 jul.: Porto Alegre). Anais. Porto Alegre: ABRHidro,[2018].
- Merz, B. et al. Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 2, n. 9, p. 592-609, 2021.
- Monte, B. E. O., Goldenfum, J. A., & Valério, E. D. L. S. 2015 Análise de frequência de máximos de chuva na bacia hidrográfica do Taquari-Antas. Anais XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília.
- Monte, B. E. O., Goldenfum, J. A., & Valério, E. D. L. S. (2015). Eventos extremos de vazão por análise de frequência na bacia hidrográfica do Taquari-Antas. Anais XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília.
- Monte, B. E. O. (2022). CRBi: um índice de risco de inundações desenvolvido para municípios brasileiros. Tese de Doutorado. IPH UFRGS.
- MONTOR-MONTREAL. 1972. Plano diretor – Programa de Desenvolvimento Integrado da Região Taquari-Antas. Porto Alegre: Secretaria de Desenvolvimento Regional e Obras Públicas.
- Moraes, S. R., Eckhardt, R. R., de Oliveira, G. G., & Mendes, C. (2018). ANÁLISE DO TEMPO DE RETORNO DAS INUNDAÇÕES DO RIO TAQUARI NO MUNICÍPIO DE LAJEADO-RS. ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 1.
- Moraes, S. R. 2015 Mapeamento das áreas e edificações atingidas pelas inundações do Rio Taquari na área urbana do município de Lajeado/RS. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado.
- Müller Neto, J. A., Dornelles, F., Fleischmann, A. S., & Medeiros, M. S. (2019). Estimativa de impacto das cheias de 1941, 1967 e 2015 em Porto Alegre na hipótese de inexistência do sistema de proteção contra cheias do Lago Guaíba. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (23.: Foz do Iguaçu, 2019). Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ABRH, 2019.
- Naghetini, M., & Pinto, É. J. D. A. (2007). Hidrologia estatística. CPRM.
- Oliveira, G. G. D., Eckhardt, R. R., Haetinger, C., & Alves, A. (2018). Caracterização espacial das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. *Geociências: Sao Paulo*. Sao Paulo [recurso eletrônico]. Vol. 37, n. 4 (2018), p. 849-863.

- Oliveira, G. G. 2023 Desastre hidrológico ocorrido em janeiro de 2010 na porção central do Rio Grande do Sul (RS). In: Zanandrea, F. et al. 2023 Desastres e água: eventos históricos no Brasil. Porto Alegre, RS : ABRHidro.
- Paul, L. R.; Salvador, C. G.; Guirro, M. O.; Zanandrea, F.; Michel, G. P.; Abatti, B. H.; Schwarz, H.; Biz, R.; Biehl, A.; Kobiyama, M. 2023 Escorregamentos e inundação brusca na bacia hidrográfica do rio Rolante/RS no ano de 2017. In: Zanandrea, F. et al. 2023 Desastres e água: eventos históricos no Brasil. Porto Alegre, RS : ABRHidro.
- Pedrollo, O. C. (2017). Previsão de curto prazo de níveis com redes neurais artificiais para a cidade de Estrela (RS): Resultados preliminares. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (22.: Florianópolis, 2017). Anais [recurso eletrônico].[Porto Alegre: ABRH, 2017].
- Rezende, B. S. 1993 Análise hidrológica sobre as ocorrências de inundações na área urbana da cidade de Lajeado, RS. Relatório de Consultoria para a Prefeitura de Lajeado.
- Schierholt, J. A. (1992). Lajeado I: povoamento, colonização, história política. Ed. do Autor.
- Silveira, A. L. L. (2020). Chuvas e vazões da grande enchente de 1941 em Porto Alegre/RS. Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, 35, 69-90.
- Silveira, A. L. L.; Dornelles, F.; Goldenfum, J. A.; Possa, T. M.; Collischonn, W.; Moraes, S. R. 2023 A histórica cheia de 1941 na bacia hidrográfica do Guaíba. In: Zanandrea, F. et al. 2023 Desastres e água: eventos históricos no Brasil. Porto Alegre, RS : ABRHidro.
- Siqueira, V. A., Fleischmann, A. S., Collischonn, W., & Fan, F. M. (2015). Desenvolvimento de um Sistema Operacional de Previsão de Cheias na Bacia do Taquari-Antas/RS, Brasília: XXI. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- Siqueira, V. A., Collischonn, W., Fan, F. M., & Chou, S. C. (2016). Ensemble flood forecasting based on operational forecasts of the regional Eta EPS in the Taquari-Antas basin. RBRH, 21, 587-602.
- Tucci, C. E. (2001). Hidrologia: ciência e aplicação. ; 2. reimpr. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH.
- Willner, S. N.; Otto, C.; Levermann, A. 2018 Global economic response to river floods. Nature Climate Change, v. 8, n. 7, p. 594-598, 2018.
- Zanandrea, F.; Kobiyama, M.; Michel, G. P.; Fleischmann, A.; Collischonn, W. 2023 Desastres e água: eventos históricos no Brasil. Porto Alegre, RS : ABRHidro.