

RESUMO EXPANDIDO

Nome do Eixo Temático: Engenharia Costeira e Oceanográfica

ANÁLISE DOS FATORES INFLUENTES NA VARIAÇÃO DO NÍVEL DA ÁGUA NO ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS, DURANTE A INUNDAÇÃO DE MAIO 2024

Leonardo Contreira Pereira, Eng. Hídrica UFPel, leonardocontreira@gmail.com

Letícia Silva Costa, Eng. Hídrica UFPel, leticiaacosta991@hotmail.com

Luis Miguel Ávila Mattos, Eng. Computação UFPel, luism.amattos@inf.ufpel.edu.br

Rafael Ferrari, Eng. Hídrica UFPel, ferrari.rafael.rf@gmail.com

Lorenzo Lima Valente, Eng. Eletrônica UFPel, lorenzolvalente@gmail.com

José Eduardo das Neves Fonseca, Eng. Eletrônica UFPel, fonseca.jose@ufpel.edu.br

Felipe Ávila Silva, Eng. Computação UFPel, fasilva@inf.ufpel.edu.br

Resumo: No mês de maio de 2024, chuvas torrenciais causaram inundações no Rio Grande do Sul. As inundações tiveram efeitos catastróficos nas regiões da Serra e metropolitana de Porto Alegre. Mais tarde, a água chegou aos municípios ao longo da Lagoa dos Patos, como é o caso da cidade de Pelotas. O Laboratório HidroSens da Universidade Federal de Pelotas monitorou os níveis d'água dos corpos hídricos ao redor da cidade: Lagoa dos Patos, Canal São Gonçalo e Arroio Pelotas. Este monitoramento foi importante não só para a população, como também para análise dos fatores ambientais mais influentes no seu comportamento. O comportamento do nível da Lagoa dos Patos obedeceu não só à descarga extrema dos seus afluentes, mas principalmente do regime de ventos na região. Não foi observada influência da maré na variação dos níveis do estuário junto ao município de Pelotas.

Palavras-chave: Inundação, Estuário, Nível d'água.

1. INTRODUÇÃO

Em maio de 2024, o estado do Rio Grande do Sul enfrentou uma das enchentes mais devastadoras de sua história recente, com efeitos significativos na Região Metropolitana de Porto Alegre e, subsequentemente, na cidade de Pelotas. A sequência de eventos começou com chuvas torrenciais e persistentes que atingiram a bacia hidrográfica do Rio dos Sinos e do Rio Gravataí, no nordeste do estado. À medida que o volume de água se deslocou para o sul, através da Laguna dos Patos, a cidade de Pelotas, situada à margem do Canal São Gonçalo, que liga a Lagoa Mirim ao estuário da Laguna dos Patos, foi severamente impactada.

Os maiores picos de alagamento nas cidades de Porto Alegre e Pelotas ocorreram em datas distintas. Na Região Metropolitana de Porto Alegre, o maior pico de alagamento foi registrado em 8 de maio de 2024. Já em Pelotas, o primeiro grande pico aconteceu no dia 16 de maio, refletindo a progressão do deslocamento da massa de água ao longo da laguna. Neste ínterim, o Laboratório HidroSens da Universidade Federal de Pelotas, instalou 4 medidores de nível com transmissão em tempo real montados no próprio laboratório, para monitorar a variação da superfície da água nos 3 principais corpos hídricos ao redor da cidade: Canal São Gonçalo, Laguna dos Patos e Arroio Pelotas. Este monitoramento foi importante não só para a população, como também para análise dos fatores ambientais mais influentes no seu comportamento.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 Monitoramento de Níveis da Água em Inundações

O monitoramento de níveis da água é crucial para prevenir e mitigar os impactos de inundações em áreas urbanas. Existem duas principais formas de realizar esse monitoramento, são elas: Estações Manuais, compostas por réguas linimétricas, cujos dados podem ser registrados por observadores; Estações Automáticas, nas quais os dados são obtidos por sensores, com o auxílio de uma plataforma que coleta informações, processa e transmite remotamente (ANA, 2013). Esses sistemas permitem informar antecipadamente a população sobre os possíveis riscos de inundação, possibilitando a adoção de medidas preventivas.

Além do monitoramento em tempo real, é importante o desenvolvimento de modelos hidrológicos distribuídos para previsão de inundações. Esses modelos são alimentados por dados de uma rede de coleta de dados hidrometeorológicos (temperatura, chuva, vazão) e permitem gerar alertas com antecedência suficiente para mitigação dos danos (BROCCA, L. et al., 2011). Portanto, o monitoramento de níveis da água através de estações manuais e automáticas, aliado ao desenvolvimento de modelos hidrológicos de previsão, é fundamental para o gerenciamento de riscos de inundações em áreas urbanas (VON AHN & MARQUES, 2018).

2.2 Comportamento Hidrodinâmico do Estuário da Lagoa dos Patos

As lagoas costeiras são áreas continentais inundadas por águas doces ou marinhas, normalmente orientadas paralelamente à linha de costa e conectadas ao oceano através de um ou mais canais (KJERFVE, 1986). Esse encontro de águas forma os estuários, que são caracterizados por um ambiente salobro. Os estuários apresentam uma forte relação entre a hidrodinâmica e a morfodinâmica, resultando em características físicas e químicas variáveis. Sendo assim, a circulação pode ser influenciada significativamente por ventos, ondas, marés, descargas de água doce, ou outros fatores associados ao ecossistema.

O estuário da Lagoa dos Patos, localizada no extremo sul do Brasil, tem a circulação predominantemente influenciada pela ação dos ventos e das descargas fluviais, recebendo um grande aporte sedimentar dos seus afluentes (GONÇALVES et. al., 2021). A região estuarina compreende cerca de 1.000 km², ocupando 10% da área total da lagoa. A amplitude da maré astronômica é de 0,45m, e a água do mar penetra até 200km ao norte da laguna, em condições de ventos favoráveis (TOLDO et al., 2005). Na Lagoa dos Patos, a circulação tem como principais forçantes a descarga dos rios e os ventos, enquanto o efeito da maré tem importância secundária. Desse modo, com a influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), os ventos de nordeste são predominantes na maior parte do ano, causando situações de vazante na lagoa. Os ventos de nordeste com baixa descarga fluvial causam uma diminuição no nível de água da laguna nos setores mais ao norte, e um aumento ao sul. Sendo assim, ocasionando um vazamento da água continental para o oceano (MÖLLER et al., 2001).

3. METODOLOGIA/MATERIAL E MÉTODOS

O monitoramento foi realizado com três medidores de nível com configurações distintas. Todos os medidores foram instalados junto a réguas linimétricas referenciadas, que serviram de comparação para a leitura dos níveis dos medidores, vide Figura 1. O primeiro foi instalado às margens da Lagoa dos Patos, na localidade da Galateia, na colônia de pescadores Z3. Este medidor constava de um sensor ultrassônico JSN-SR04T, embarcado numa placa microcontroladora ESP 32 (COSTA & CONTREIRA, 2023), transmitindo os dados via wi-fi para uma plataforma IoT (ThingSpeak®), onde os dados foram organizados em gráficos, como mostra a Figura 2. Este medidor era alimentado por uma fonte 5V conectada à rede de energia e transmitia os dados a um roteador próximo ao local de instalação. Uma segunda versão do mesmo medidor foi instalada junto à margem do Canal São Gonçalo, nas dependências do Campus Porto da UFPel.

FIGURA 1. Localização dos medidores de nível no município de Pelotas



Posteriormente, o mesmo sensor foi utilizado para o monitoramento da Lagoa dos Patos, instalado no trapiche da Praia do Laranjal. Nesse caso, não havia rede elétrica, tampouco sinal wi-fi disponíveis. Foi necessária a utilização de 2 baterias de 7Ah para autonomia energética e transmissão dos dados via protocolo LoRaWAN para um gateway instalado a 2,5 km de distância. No Arroio Pelotas, em colaboração com os Laboratórios ConectaNos e CyphyLab da UFPel, foi instalado um sensor EM440-UDL da empresa Milesight, também ultrassônico e com transmissão via LoRaWAN.

FIGURA 2. Esquema de montagem do medidor e transmissão dos dados.



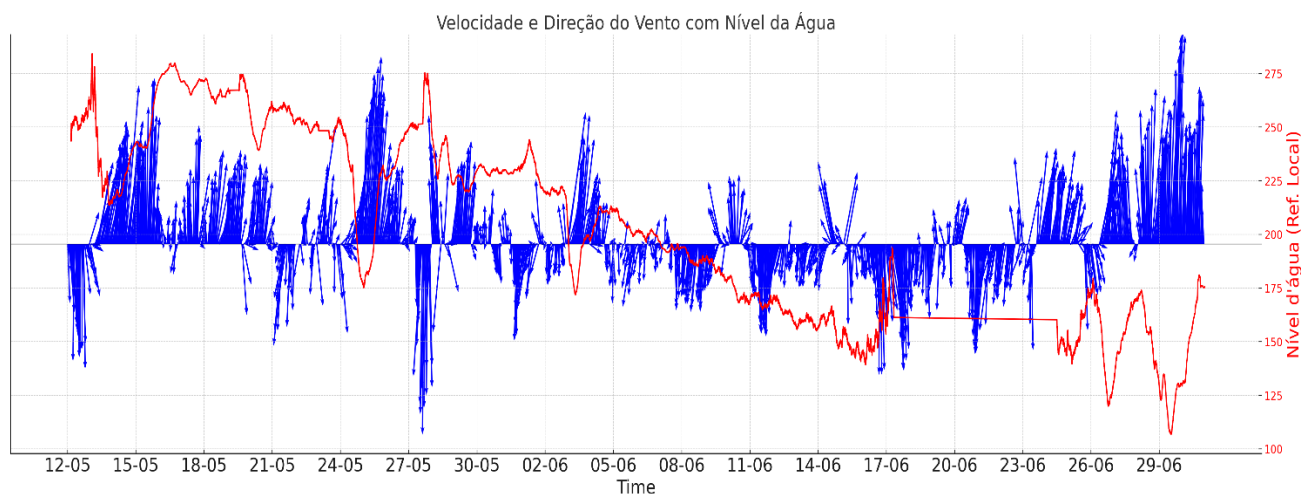
Os dados de precipitação foram adquiridos da Estação Meteorológica Automática instalada no Posto Meteorológico da Sede da Embrapa Clima Temperado. Os dados de maré foram adquiridos da Estação Maregráfica Rio Grande 2 da Rede SimCosta, com referência do Nível Médio do Mar a Imbituba (IBGE).

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O medidor na colônia de pescadores Z3 foi instalado no dia 5/5/2024, permanecendo até o dia 9/5/2024, quando a energia foi desligada na região devido ao aumento do nível d'água na Lagoa dos Patos. As medições começaram em 29 cm de acordo com a régua local e finalizaram em 85 cm, com variações durante o período. O medidor no Canal São Gonçalo foi instalado no dia 8/5/2024, permanecendo até o dia 9/6/2024. A leitura máxima foi registrada em 3,02 m no dia 27/5/2024, segundo a régua local referenciada ao marco de Imbituba, de propriedade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Notou-se que a variação de nível do canal foi influenciada principalmente pelo nível da Lagoa dos Patos junto ao sangradouro do canal, aliado à sua própria descarga, devido às chuvas na bacia da Lagoa Mirim, que inclui boa parte da região nordeste do Uruguai.

Na Figura 3 é mostrada a variação total de nível durante o período (linha vermelha), assim como a direção e intensidade dos ventos de acordo com o comprimento dos vetores em azul. O medidor na Lagoa dos Patos foi instalado no dia 9/5/2024, tendo seu maior valor registrado em 2,79 m de acordo com a régua local.

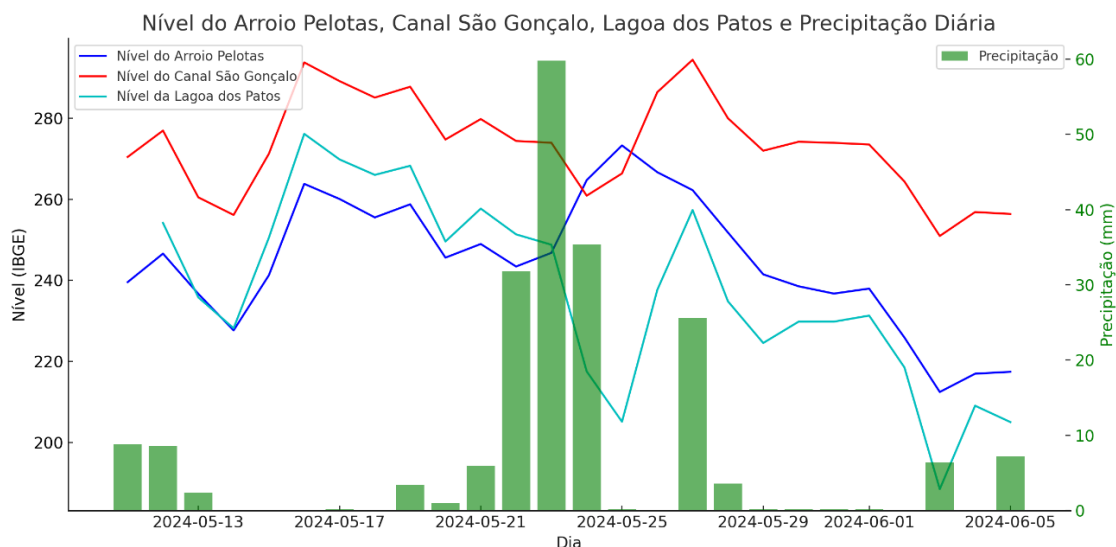
FIGURA 3. Série temporal do nível d'água e vetores velocidade e direção do vento



Notou-se que os maiores níveis das águas da laguna na região circundante à cidade de Pelotas, foram devido às descargas do Lago Guaíba, Rio Camaquã e Canal São Gonçalo, e principalmente dos ventos leste/nordeste. Nessa direção, o vento faz a lagoa bascular tanto longitudinalmente, empolando água na porção sul, quanto transversalmente, levando a água para a margem oeste. Os ventos do quadrante sul levaram à redução dos níveis junto ao município de Pelotas. Isso se deve ao basculamento das águas da laguna, aumentando os níveis na porção norte e reduzindo na porção sul. Supõe-se que como o sistema lagunar Patos-Mirim estava cheio, com altos níveis de forma ampla, as variações de nível do oceano não influenciaram significativamente nos níveis do alto estuário.

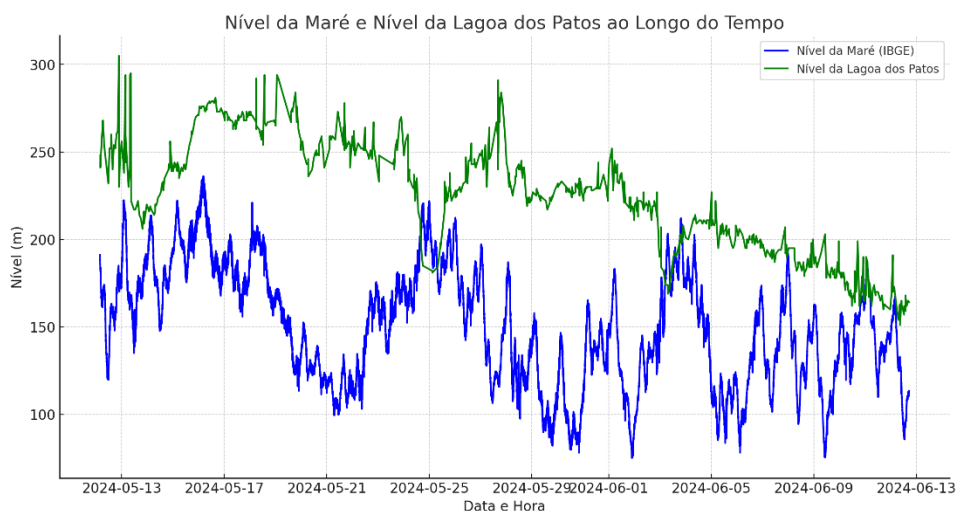
Em geral, o nível do Canal São Gonçalo acompanhou a variação do nível da Laguna dos Patos junto à costa da Praia do Laranjal. Esta variação foi determinada não só pelo deslocamento do volume extra de água proveniente do norte do estado, mas principalmente pela ação local dos ventos, que força o basculamento das águas da laguna. Há de se observar que o Canal São Gonçalo recebe também as águas da área de drenagem do lado uruguaio da Lagoa Mirim, que também registraram altos índices de precipitação no mesmo período, levando a um segundo pico muito alto no dia 27 de maio, acompanhando o segundo pico da Laguna dos Patos. Não houve influência da precipitação local nos níveis do Canal São Gonçalo e Laguna dos Patos, esta influência ocorreu apenas no Arroio Pelotas devido à captação em sua própria área de drenagem (Figura 4).

FIGURA 4. Variação dos níveis da Lagoa dos Patos, Canal São Gonçalo e Arroio Pelotas e Precipitação diária



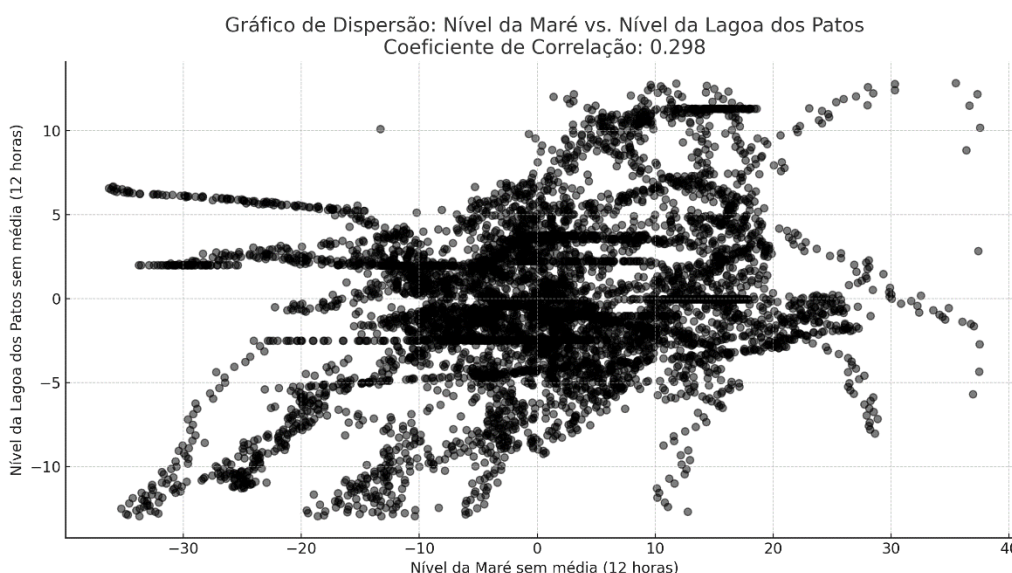
Na Figura 5 pode-se observar os dados brutos de nível do medidor instalado na Praia do Laranjal e os dados de maré da estação maregráfica de Rio Grande. Para analisar a influência da maré nos níveis do estuário junto à Praia do Laranjal, primeiro retirou-se a média de 12 h de leitura, uma vez que a maré semidiurna, ou a menor frequência notável da maré astronômica, tem um ciclo inteiro com este período, ou seja, cada amplitude positiva e negativa, tem período de 6h. Desta forma, a média de 12h retira a linha central das variações das marés semidiurna, deixando apenas as amplitudes desta variação.

FIGURA 5. Série temporal de nível da Lagoa dos Patos e maré na Barra de Rio Grande



A tendência dos dados de nível, também foi retirada obedecendo a mesma filtragem, de forma que apenas as frequências relativas à influência da maré nos dados de nível, fosse aferida. A análise dos dados filtrados revela que há pouca ou nenhuma influência da maré nos níveis do estuário junto à costa do município de Pelotas, vide o gráfico de dispersão da Figura 6. A micromaré da região não foi suficiente para sobrepujar os altos níveis causados pela inundação no interior da laguna. Embora a maré possa ter alguma influência nos períodos de normalidade da dinâmica estuarina, a inundação manteve o potencial hidráulico favorável ao escoamento para o oceano em todo o período monitorado.

FIGURA 6. Correlação dos dados filtrados de maré e nível da Lagoa dos Patos



5. CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os níveis da inundação de maio de 2024 no município de Pelotas foram monitorados através de medidores de nível d'água produzidos no Laboratório HidroSens no período entre o começo da inundação na região metropolitana de Porto Alegre e a chegada do primeiro pico em Pelotas. Os medidores foram instalados de forma a abranger a situação dos níveis dos principais corpos hídricos ao redor da cidade.

O comportamento do nível da Lagoa dos Patos obedeceu não só à descarga extrema dos seus afluentes, mas principalmente do regime de ventos na região. Os ventos de Sul e Sudoeste intensos, bascularam a laguna de forma a empilhar suas águas na porção norte, reduzindo os níveis no estuário. Da mesma forma, os ventos de sudeste e leste empilharam as águas na margem oeste, aumentando a inundação na região da Praia do Laranjal.

O volume de chuvas na região nordeste do Uruguai influenciou na descarga e aumento de nível do canal São Gonçalo, observando-se o maior nível da história na margem junto à cidade de Pelotas. Em geral, o nível do Canal São Gonçalo esteve 40 cm acima do nível da Lagoa dos Patos. A precipitação local não teve influência nos níveis do canal e laguna, alterando apenas o nível do Arroio Pelotas. Por fim, a maré no Oceano Atlântico não influenciou nos níveis observados no estuário junto ao município de Pelotas.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). Uso múltiplos – Prevenção de inundações. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/UsosMultiplos/inundacoes.asp> Acesso em: 22 out. 2023.

BROCCA, L. et al. Rainfall-runoff modelling for flood forecasting in ungauged basins: the case study of the Tiber River. *Advances in Geosciences*, v. 26, p. 7-13, 2011.

COSTA, L, S; CONTREIRA, L, P. (2023). Medidor de nível com sensor ultrassônico de baixo custo. *Anais do XXXII Congresso de Iniciação Científica da IX Semana Integrada UFPEL*, Pelotas, 2023. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2023/EN_05256.pdf?ver=1695393993 Acesso em: 01 set 2024.

KJERFVE, B. Comparative Oceanography of Coastal Lagoons. *Estuarine Variability*. 1986, pp 6381.

GONÇALVES, T.R.; TROMBETTA, T.B.; MÖLLER JR, O.O.; MARQUES, W.C. Análise hidromorfodinâmica do canal do estuário da lagoa dos patos: estudo de caso para 2011. *Sociedade, Ambiente e Tecnologia: Mar Afora, Costa Adentro – Tomo X da Rede BRASPOR*, 2011. Disponível em: <https://www.redebraspor.org/livros/2021/Braspor%202021%20Artigo%208.pdf> Acesso em 01 set 2024.

MÖLLER JR., O.; CASTAING, P.; SALOMON, J.; LAZURE, P. 2001. The Influence of Local and NonLocal Forcing Effects on the Subtidal Circulation of Patos Lagoon. *Estuaries* 24.2, p 297.

TOLDO, E.; DILLENBURG, S.; CORREA, I.; LUIZ; ALMEIDA, E.; WESCHENFELDER, J. 2005. Sedimentação na Lagoa dos Patos e os impactos ambientais. *ABEQUA* 1 pp 16.

TUCCI, C. E. M. Inundações e Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (Org.). *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: ABRH, 2003.



I Congresso Nacional da Associação Brasileira de Engenharia Hídrica
Engenharia Hídrica: o futuro dos recursos hídricos começa agora

VON AHN, B.S., MARQUES, G.F. Importância de explorar medidas de adaptação e mitigação na redução dos danos causados pelas inundações. I Encontro Nacional de Desastres, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/79/END167.pdf> Acesso em: 01 set 2024