

Comparação estatística não paramétrica dos dados de instrumentação de uma barragem de concreto

Nonparametric statistical comparison from instrumentation data of a concrete dam

RESUMO

Emanuel Stingelin Dornelles
emanuelstingelin.dornelles@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

Sheila Regina Oro
sheilaro@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

Devido a imensidão de medidas relacionadas à instrumentação de barragens de concreto, análises estatísticas são importantes meios de interpretação desse tipo de dados. Utilizando-se de testes de comparação múltipla, o presente trabalho objetivou comparar sensores da instrumentação instalada em dois blocos de uma barragem de concreto pelos métodos não paramétricos, por conta da distribuição diferente da normal dos dados. Foram aplicados o Teste de Kruskal-Wallis e a Soma de Postos de Wilcoxon a sensores de bases de alongâmetro do bloco-chave D8 e pêndulos diretos do bloco-chave D20. Como resultado, notou-se que alguns dos sensores apresentaram semelhanças significativas em um nível de 95% de confiança, indicando isonomia nos fenômenos monitorados por estes sensores, o que pode ser útil para uma aplicação mais eficaz em modelagens estatísticas desses dados.

PALAVRAS-CHAVE: Teste de Kruskal-Wallis. Teste de Wilcoxon. Pêndulos diretos. Bases de alongâmetro.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

Due to the immensity of measures related to a concrete dams' instrumentation, statistical analysis are important means of interpretation of this kind of data. Utilizing multiple comparison tests, the present paper had the goal to compare instrumentation's sensors of a concrete dam by the nonparametric procedures because data had a different distribution than normal. The tests applied were the Kruskal-Wallis Test and the Wilcoxon Rank-Sum Test to the sensors of reinforcement strain meters from the key-block D8 and direct pendulums from key-block D20. As a result, it was noted that some sensors are significantly equal at a 95% trust level, indicating isonomy of the phenomena monitored by this sensors, which can be useful for a more effective application in statistical modeling containing this type of data.

KEYWORDS: Kruskal-Wallis Test. Wilcoxon Test. Direct Pendulums. Reinforcement strain meters.

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento de barragens deriva-se do princípio de estabilidade de uma construção desse tipo, seguindo as demandas para que se evitem acidentes e incidentes que são potenciais causadores de danos estruturais, econômicos e socio-ambientais (MANUAL, 2002). Para realizar-se o monitoramento, utilizam-se instrumentos capazes de gerar medidas como o nível de água do reservatório, a temperatura do ar, deslocamentos horizontais entre muitos outros (DIAS; BATISTA; PEREIRA, 2018).

A interpretação, o tratamento e análise de dados da instrumentação é etapa importante para conhecer-se o comportamento das medições dadas pelos instrumentos. A utilização de testes de hipóteses e comparação é uma boa alternativa de ferramentas estatísticas para a engenharia quando aliada aos conhecimentos de intervalo de confiança em experimentos comparativos, sendo os testes do tipo paramétrico os mais utilizados. Contudo, quando não se tem uma distribuição normal das amostras, faz-se necessário o uso de testes que não utilizam-se dos mesmos parâmetros e são chamados, então, de procedimentos não paramétricos, que necessitam de um tamanho maior de amostra para serem utilizados (MONTGOMERY; RUNGER, 2016).

O presente estudo objetivou comparar, por meio da aplicação de testes estatísticos não paramétricos, as medidas médias mensais de sensores da instrumentação de dois blocos-chave do Trecho D da barragem de Itaipu, sendo eles D8 e D20, para determinar semelhanças significativas entre os sensores com um nível de confiança de 95%.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A análise dos dados iniciou-se na seleção prévia dos instrumentos com maior quantidade de medições ao longo do tempo, contendo sensores de Bases de Alongâmetro, que medem abertura e fechamento das juntas, o deslizamento horizontal e o recalque diferencial entre blocos e Pêndulos Diretos responsáveis pela medição de deslocamentos radiais e tangenciais (ORO, 2016).

Os dados da instrumentação da barragem, fornecidos pelo Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens (CEASB) para a pesquisa, foram coletados manualmente a partir de 1990 até o ano de 2017. A partir desses, criou-se uma matriz de médias mensais para cada sensor gerando dados em formato de série temporal de frequência 12.

Com o auxílio do *software* R, um programa estatístico gratuito e com conteúdos de fácil acesso a recursos extras, pôde-se realizar a análise de distribuição de probabilidades da amostra pelo teste de Shapiro-Wilk. Seguiu-se das respectivas conclusões a escolha do método não paramétrico de comparação.

Os testes de comparação não paramétricos aplicados foram os de Kruskal-Wallis (KW) — conhecido também como Teste H — e o Teste da Soma de Postos de Wilcoxon (SPW), a fim de encontrar significativas semelhanças entre cada sensor em estudo. Como esses testes utilizam medianas para comparação, os *boxplots* foram também plotados para gerar uma interpretação prévia de

semelhança e o agrupamento dos dados em grupos e/ou pares, dependendo de cada etapa.

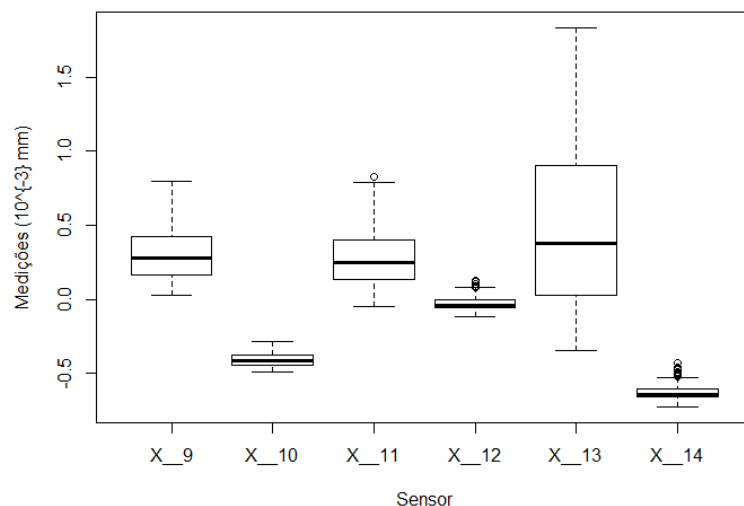
A partir dos resultados numéricos, foram tabulados os valores-p obtidos para os pares comparados por SPW a fim de gerar uma interpretação melhor para cada grupo de instrumentos a 95% de confiança, logo, os valores-p superiores a 0,05 seriam responsáveis pela aceitação da hipótese nula de semelhança entre os sensores, sendo essa análise estendida também para o teste KW.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do desenvolvimento de *scripts* no Software R, foi possível estimar os valores-p do teste de Shapiro-Wilk que resultaram em instrumentos sem distribuição normal. Essa análise, fez com que testes não paramétricos fossem escolhidos para realizar-se a comparação de médias entre os sensores.

Como auxílio na escolha dos grupos a serem comparados, foram gerados os gráficos do tipo *boxplot*. Conforme visualiza-se na Figura 1, os sensores de cada Base de Alongâmetro do bloco-chave D8 tendem a se agrupar em valores comuns, gerando-se os grupos um e dois, contendo, respectivamente, X_9; X_11; X_13 e X_10; X_12; X_14. Logo, para comparar três sensores por vez, utilizou-se o teste KW que, segundo Triola (2015), é adequado para três ou mais populações.

Figura 1 – *Boxplot* referente aos sensores das Bases de Alongâmetro do Bloco D8



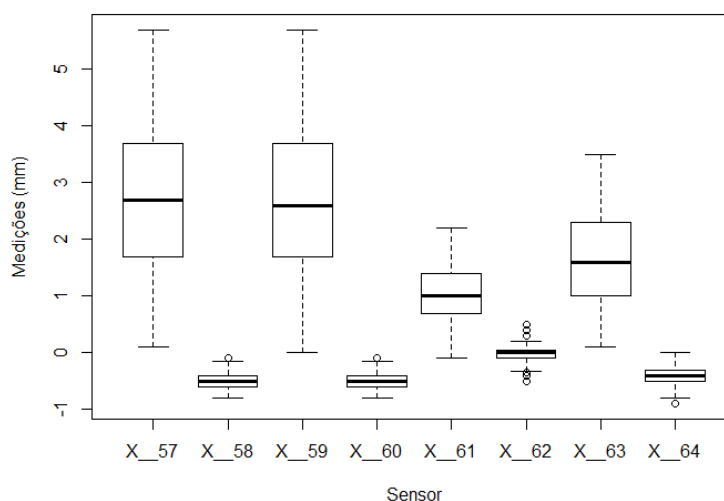
Fonte: Autoria própria (2019).

Para o grupo de bases número um, obteve-se um valor-p próximo a 1%, o que significa que, pelo menos um dos sensores difere significativamente dos outros a 95% de confiança, enquanto que para o grupo dois, KW foi igual a zero.

Diferentemente do caso anterior, visualiza-se na Figura 2 os *boxplots* que geraram o agrupamento também dos sensores dos Pêndulos Diretos do bloco-chave D20, contudo, para pêndulos, ocorre a divisão dos dados em quatro diferentes regiões de valores, o que significa que, para cada grupo de sensores montado houve apenas um par e KW não se aplicou.

Para descobrir quais sensores apresentavam semelhanças ou diferenças, para ambos os blocos, utilizou-se a comparação SPW para os pares que, graficamente pela análise da linha em negrito nos *boxplots*, sugeriam uma semelhança significativa. No caso do bloco D20, a comparação visual foi a determinante para quais sensores seriam comparados par a par enquanto que para o D8, foram comparados pares dentro dos grupos já previamente formados. Os valores encontrados nos testes estão dispostos na Tabela 1.

Figura 2 – *Boxplot* referente aos sensores de Pêndulos Diretos do Bloco D20



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 1 – Valores do teste da soma de postos de Wilcoxon (SPW)

Pares	Instrumentos	Bloco	Valor-p para SPW
X_9; X_11	Bases de Alongâmetro	D8	0,1021
X_9; X_13	Bases de Alongâmetro	D8	0,0542
X_11; X_13	Bases de Alongâmetro	D8	0,0060
X_57; X_59	Pêndulos Diretos	D20	0,5508
X_58; X_60	Pêndulos Diretos	D20	0,8547
X_61; X_63	Pêndulos Diretos	D20	Zero
X_62; X_64	Pêndulos Diretos	D20	Zero

Fonte: Autoria própria (2019).

Dessa forma, utilizando-se o nível de confiança de 95%, observou-se que quatro dos pares comparados eram significativamente semelhantes (valor-p \geq 0,05). Conhecer essa relação é importante para o caso de modelagens estatísticas que precisem excluir sensores, como é o caso do IMCRB (ORO, 2016).

Também, pode ser útil aos engenheiros responsáveis pela barragem saber que, se as médias históricas dos instrumentos são iguais, uma anomalia seria captada por todos os instrumentos que apresentaram essa característica, e não apenas por um deles.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação pelos testes não paramétricos dos dados com distribuição diferente da normal, mostrou-se capaz de comprovar estatisticamente se as amostras contêm semelhanças significativas e pode ser utilizada no monitoramento de barragens, considerando a grande quantidade de dados disponíveis para análise, provenientes da instrumentação instalada nos blocos.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos vão à Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação (DIRPPG) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná *Campus* Francisco Beltrão pela possibilidade de realização da pesquisa e ao Parque Tecnológico Itaipu (PTI) juntamente ao Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens (CEASB) pelo fomento técnico e financeiro.

REFERÊNCIAS

DIAS, I. BATISTA, A. L.; PEREIRA, R. Analysis and interpretation of the structural behavior of Bouçoais-Sonim dam during the first filling of the reservoir and the following 10 years of operation. 2018. *In: Third International Dam World Conference*, n. 52, 2018, Foz do Iguaçu.

MANUAL de Segurança de Inspeção de Barragens. Ministério da Integração Nacional, Brasília, 2002. Disponível em:
<http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/inspecao/ManualdeSegurancaelinspecaodeBarragens.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2018.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2016.

ORO, S. R. **Índice de Monitoramento do Comportamento estrutural de blocos de concreto de barragem – uma Abordagem Multivariada**. 2016. Tese (Doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística: Atualização da Tecnologia**. 11. ed, Rio de Janeiro: LTC Editora, 2015.