

## Estratégias de determinação de limites estatísticos de controle de um instrumento de monitoramento de barragem

Emerson Lazzarotto<sup>1</sup>

Vitória Eduarda Bello<sup>2</sup>

UNIOESTE, Univ. Est. Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu, PR

As barragens são grandes obras de engenharia, que tem por finalidade a produção de energia elétrica, irrigação, dentre outras [3]. Quando se trata de uma barragem de geração de energia elétrica, para assegurar seu controle, é necessário que haja inspeções feitas pela equipe de engenharia e por instrumentos de monitoramento.

Dada a especificidade de cada obra de barragem, não se pode generalizar a média e a variabilidade de uma característica avaliada por um instrumento em outras barragens e, até mesmo, na mesma barragem. Em vista disso, o objetivo deste trabalho é discutir diferentes estratégias para determinação de limites estatísticos de controle da série temporal de um instrumento de monitoramento de barragem. Essas séries temporais possuem algumas características que inviabilizam a aplicação direta de gráficos de controle tradicionais de Shewhart, por exemplo, como a sazonalidade das estações do ano que acarretam uma variabilidade inerente (causa especial de variação) ou a alta autocorrelação existente. Nesse sentido, os gráficos de controle de modelos autorregressivos integrados de médias móveis (ARIMA), criados por [1] são importantes ferramentas para lidar com situações de autocorrelação. Uma outra estratégia pode ser aumentar o tamanho das amostras.

Segundo [2], quando trata-se de uma variável contínua que está sendo analisada, é necessário que utilize-se dois tipos de gráficos de controle: um para monitorar a centralidade (gráfico  $\bar{X}$ ) e outro para fazer o monitoramento da dispersão (gráfico  $R$ ). Nestes gráficos, sob a hipótese de controle, varia-se o tamanho da amostra para que a quantidade de falsos alarmes diminua.

O material deste trabalho consiste da série temporal de leituras do instrumento 'Piezômetro (PS-E-28)', que monitora a subpressão da barragem da Usina Hidrelétrica de Itaipu. A unidade de medida dos dados é metros sobre o nível do mar (msnm). A série possui 269 dados mensais de setembro/1997 a fevereiro/2020, ou seja, dispõe-se de um conjunto constituído de 269 observações.

Para a execução do trabalho foram construídos gráficos de controle para 6 cenários (estratégias) distintos, onde utilizou-se os gráficos  $\bar{X}$  e  $R$  que monitoram a média e amplitude das amostras, respectivamente, e gráficos ARIMA, indicados para dados que possuam autocorrelação [4]. Nos cenários 1 a 4 utilizou-se a série de dados completa com todas as observações disponíveis e variou-se somente o tamanho das amostras para obter os limites de controle, sempre trabalhando com o conjunto completo de dados. Nos cenários 5 e 6 buscou-se modelos ARIMA adequados para obter limites de controle.

Dado o elevado número de observações fora dos limites de controle para a série temporal completa de dados mensais, optou-se como primeira estratégia aumentar o tamanho das amostras. Elaborou-se, dessa forma, a Tabela 1, que apresenta para cada cenário a quantidade de amostras e apresenta ainda o número de observações fora dos limites de controle, denotada por FLC, tanto para os gráficos  $\bar{X}$  e  $R$  quanto para aos gráficos ARIMA e se estatisticamente, podemos afirmar

---

<sup>1</sup>emerson.lazzarotto@gmail.com

<sup>2</sup>vitoriaeduardabello@hotmail.com.

(sim ou não) que aquele número de observações fora dos limites de controle é tolerável para os limites de controle  $\mu \pm 3\sigma$ .

Tabela 1: Estratégias - gráficos  $\bar{X}$  e  $R$  e modelos ARIMA

Cenário	Estratégia	Tamanho de amostra	Quantidade de amostras	FLC (média)	FLC (amplitude)	Controle
1	$\bar{X}$ e $R$	$n = 1$	269	69	5	Não
2	$\bar{X}$ e $R$	$n = 3$	90	37	0	Não
3	$\bar{X}$ e $R$	$n = 4$	68	23	1	Não
4	$\bar{X}$ e $R$	$n = 6$	45	0	0	Sim
5	ARIMA	$n = 1$	269	3	8	Não
6	ARIMA	$n = 4$	68	0	0	Sim

Observa-se que para tamanho de amostras  $n = 6$  ( $\bar{X}$  e  $R$ ) e tamanho de amostras  $n = 4$  (ARIMA) não foram registrados falsos alarmes. Usando os modelos ARIMA, percebe-se que desde sua primeira aplicação, tomando amostras individuais, houve uma quantidade de alarmes falsos menor do que o que foi observado no cenário 1. Isso se deve ao fato de os gráficos  $\bar{X}$  serem mais afetados por deslocamentos na média do que o gráfico ARIMA, provocando mais alarmes falsos.

Na Figura 1, exibe-se o gráfico de controle  $\bar{X}$  do cenário 4 e o gráfico ARIMA do cenário 6 na série de dados e observa-se a ausência de observações fora dos limites de controle e que ambas as estratégias levam a conclusão de que o processo está sob controle estatístico.

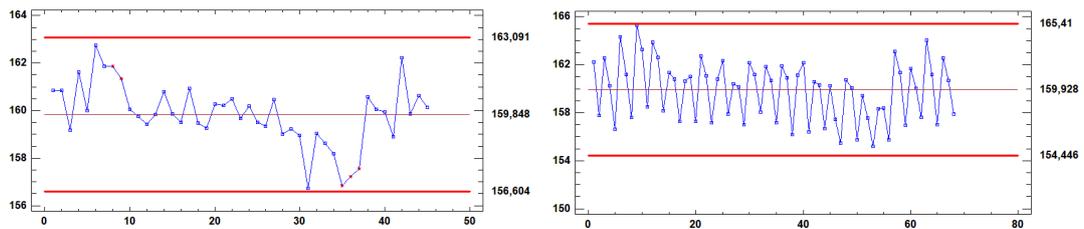


Figura 1: Gráfico  $\bar{X}$  cenário 4 (à esquerda) e gráfico ARIMA cenário 6 (à direita).

Em suma, a estratégia que utiliza os modelos ARIMA foi mais eficiente se comparada com a que utiliza os gráficos  $\bar{X}$  e  $R$ , já que ao observar-se o cenário 4 na Figura 1, percebe-se que há maiores deslocamentos na média em algumas fases do processo. Ainda, ambas evitaram alarmes falsos em seus cenários 4 e 6. Dessa forma, lidar com dados do mundo real requer amplo planejamento dos gráficos de controle para que se consiga identificar causas especiais e evitar alarmes falsos.

## Referências

- [1] Box, G. E. P., Jenkins, G. M. e Reinsel, G. C. *Time Series Analysis Forecasting and Control, Fourth Edition*. Hoboken-NJ, John Wiley and Sons, Inc., 2008.
- [2] Costa, A. F. B.; Epprecht, E. K.; Carpinetti, L. C. R. *Controle Estatístico de Qualidade*. Atlas, São Paulo, 2005.
- [3] ICOLD - CIGB. *Dams & The World's Water - An educational book that explains how dams help to manage the world's water*. Paris, 2008.
- [4] Montgomery, D. C. *Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade, 7ª edição*. LTC, Rio de Janeiro, 2019.