

## IV-750 - ESTUDO DE PROTOCOLO DE QUALIFICAÇÃO DE DADOS DE ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS

### **Leonardo Klein Manera<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Hídrico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Consultor na empresa Rhama-Analysis de Consultoria Ambiental, com foco em gestão de recursos hídricos, gestão de águas urbanas, modelos hidrológicos, avaliação ambiental, clima e hidrologia.

### **Maria Eduarda Pereira Alves<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo PPGRHSA- IPH/ UFRGS. Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo PPGRHSA- IPH/UFRGS. Consultora na empresa Rhama-Analysis de Consultoria Ambiental, com foco em gestão de recursos hídricos, gestão de águas urbanas, modelos hidrológicos, avaliação ambiental, clima e hidrologia.

### **Vinicius Nascimento Oliveira<sup>(3)</sup>**

Graduado em Engenharia Ambiental e Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Espírito Santo. Brasil.

### **Daniele Feitoza Silva<sup>(4)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Mestre pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Doutora pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS. Consultora na empresa Rhama-Analysis de Consultoria Ambiental, com foco em gestão de recursos hídricos, gestão de águas urbanas, modelos hidrológicos, avaliação ambiental, clima e hidrologia.

### **Carlos Eduardo Morelli Tucci<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS. Doutor em Recursos Hídricos pela Colorado State University. Sócio proprietário e diretor na empresa Rhama-Analysis de Consultoria Ambiental, com foco em gestão de recursos hídricos, gestão de águas urbanas, modelos hidrológicos, avaliação ambiental, clima e hidrologia.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua República, 193 - 604 – Cidade Baixa – Porto Alegre - RS - CEP: 90050-321 - Brasil - Tel: +55 (51) 99564-1900 - e-mail: [leonardo.manera@rhama-analysis.com](mailto:leonardo.manera@rhama-analysis.com)

## **RESUMO**

Este artigo propõe e avalia qualificadores para identificação de dados anômalos monitorados pela estação automática no Rio do Carmo (RCA-02) da Fundação Renova, que representa um exemplo de protocolo de validação específico para esta estação. Os dados utilizados provêm do Programa de Monitoramento Sistemático Quali-Quantitativo (PMQQS), implementado após o rompimento da Barragem de Fundão, nos trechos impactados, incluindo a bacia do rio Doce, lagoas do baixo rio Doce, zonas costeiras e estuarinas. Os parâmetros monitorados por esta estação são temperatura da água, turbidez, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, clorofila-a, cianobactérias, precipitação, umidade relativa do ar, temperatura ambiente, pressão atmosférica e nível da água. A metodologia utilizada foi baseada em três qualificadores (1, 2 e 3) definidos conforme Nota Técnica nº 80 (PMQQS, 2021), estabelecendo qualificadores aplicáveis aos dados monitorados pela rede PMQQS. A metodologia também utilizou os padrões de qualidade da água do Rio Doce (CONAMA 357/2005) e o estudo do US Geological Survey (USGS, Wagner *et al.*, 2006). O qualificador 1 foi proposto de acordo com os padrões de qualidade de água esperados para sistemas hídricos similares, limites de valores já observados ou limites de medições de instrumentos. Os dados que não atenderam aos limites do qualificador 1 foram sinalizados como anômalos. Os qualificadores 2 e 3 foram definidos com base nas séries de dados monitorados, na relação entre os parâmetros e nas estatísticas descritivas. O artigo destaca que os qualificadores propostos não são definitivos e podem ser adaptados de acordo com as características e finalidades de cada um. sistema de monitoramento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rede de Monitoramento, Qualificação de Dados, Qualidade da Água, Estações Telemétricas, Hidrologia.

## INTRODUÇÃO

Um dos objetivos de uma rede de monitoramento de bacias hidrográficas é proporcionar, com exatidão, as características básicas das grandezas hidrológicas da região (SANTOS *et al.*, 2001). Quanto maior o período de registros medidos, mais confiáveis tendem a ser as séries de dados e as estimativas feitas com base nelas (TOLEDO, 2018). Entretanto, é muito comum que existam valores de medição que sejam caracterizados como incongruentes com a realidade ou até mesmo a ocorrência de falhas nas medições de campo (SANTOS *et al.*, 2001). A falta de dados consistentes sobre o regime hidrológico das bacias é um dos principais problemas enfrentados durante a realização de estudos aplicados às bacias hidrográficas (ZHANG *et al.*, 2017).

Segundo Lopes *et al.* (2013), os dados hidrológicos observados necessitam de tratamentos ou processamentos básicos para que possam ser utilizados com confiabilidade, e de modo a reduzir os impactos negativos que as incertezas produzem nos seus resultados. Segundo Gonzalez *et al.* (2019), analisar graficamente e manualmente as séries de dados tem se mostrado um processo eficiente para a detecção de erros.

Em estações telemétricas, cujos dados monitorados são enviados de forma automática para bancos de dados, vê-se a importância da implementação de qualificadores, que avaliam o dado medido, e sinalizam a possibilidade de representar um dado anômalo ou com comportamento divergente do esperado no curso d'água específico.

Visto isso, este artigo propõe e avalia qualificadores para identificação de dados anômalos monitorados pela estação no rio do Carmo (RCA-02) da Fundação Renova, representando um exemplo de protocolo de validação específico desta estação. Os dados utilizados são provenientes do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), implementado após o rompimento da Barragem de Fundão, nos trechos impactados, contemplando a bacia do rio Doce, lagoas do baixo rio Doce, zona costeira e estuarina (WOSIACK *et al.*, 2020). Os parâmetros monitorados por essa estação são: temperatura da água, turbidez, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, clorofila-a, cianobactérias, precipitação, umidade relativa do ar, temperatura ambiente, pressão atmosférica e nível d'água.

Através de consolidação do banco de dados observados, espera-se que o monitoramento da região possa ser conter apenas dados representativos em relação a realidade. Isto proporciona tomadas de decisão e ações mais assertivas para a garantia da qualidade da água e enquadramento quanto à legislação.

## OBJETIVO

O objetivo deste estudo consiste em elaborar e sintetizar a metodologia para definição do protocolo de qualificação dos dados das estações automáticas operadas pela Fundação Renova. A aplicação dos qualificadores aos dados medidos automaticamente visa auxiliar a equipe técnica e os usuários na utilização dos dados obtidos pelas estações de monitoramento. Utilizou-se como exemplo os dados da estação Rio do Carmo 02 (RCA-02), para avaliação dos dados medidos e definição do protocolo de qualificação.

## METODOLOGIA

A validação dos dados monitorados corresponde à verificação dos dados obtidos e à identificação de possíveis erros que possam estar inseridos. Esse processo auxilia na identificação de problemas com a sonda e agiliza o processo de correção do dado ou manutenção da estação, buscando evitar a interrupção da medição dos dados.

A definição dos limites mínimos e máximos permitidos, para o protocolo de qualificação dos dados, foi definida considerando-se três qualificadores (1, 2 e 3). Utilizou-se como base a Nota Técnica No 80 (PMQQS, 2021), que estabelece qualificadores aplicáveis aos dados monitorados pela rede do PMQQS. Ainda, foram utilizados: (i) os padrões de qualidade da água do rio Doce (CONAMA 357/2005); e (ii) o estudo do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, WAGNER *et al.*, 2006).

O qualificador 1 foi proposto em acordo aos limites dos padrões de qualidade da água esperados para sistemas hídricos similares (BRYANT, 1977; FERNANDEZ, *et al.*, 2018), limites de valores já observados ou limites de medição dos instrumentos (YSI, 2019; 2021; BASE, 2021). Os dados que não atenderam ao qualificador 1 foram sinalizados como anômalos. Limites do qualificador 1 indicam se um dado deve ser sinalizado como anômalo

ou ser encaminhado a uma qualificação mais detalhada (qualificadores 2 e 3), para identificação de características regionais ou possíveis erros de monitoramento.

A construção dos qualificadores 2 e 3 foi baseada em: (i) série de dados monitorados; (ii) relação entre parâmetros; e (iii) estatística descritiva. A definição dos limites do qualificador 2 e 3 foi baseada no banco de dados da estação RCA-02, medidos entre agosto de 2017 e março de 2021.

Partindo-se do princípio de que a maioria dos conjuntos de dados possuem 99,7% dos valores amostrais limitados a 3 desvios padrões acima ou abaixo da média, adotou-se para o qualificador 2 a estimativa de valores mínimo e máximo usual (Equações 1 e 2, respectivamente) (TRIOLA, 2008). Os valores além desta faixa podem ser caracterizados outliers.

$$\text{Parâmetro}_{PMQQS} \geq \text{Mín usual} = \bar{x} - 3 * \sigma \quad (1)$$

$$\text{Parâmetro}_{PMQQS} \leq \text{Máx usual} = \bar{x} + 3 * \sigma \quad (2)$$

Onde  $\bar{x}$  e  $\sigma$  correspondem à média e o desvio padrão de um conjunto de dados.

O qualificador 3 corresponde à relação entre parâmetros, neste caso entre a vazão (WOSIACK *et al.*, 2020) e a turbidez. A avaliação da relação vazão e turbidez foi realizada pela variação da turbidez em faixas de vazões, estas subdivididas com base na escala logarítmica devido à grande variação de magnitude das vazões envolvidas. Semelhante ao qualificador 2, o qualificador 3 implica na visualização da série temporal de vazão e turbidez, identificando ciclos de variabilidade dos parâmetros.

Os dados que não atenderem aos qualificadores (2) e (3) são sinalizados como *duvidosos*. Os dados que atendem a todos critérios dos qualificadores são sinalizados no banco como *aprovados*.

Para os dados que não atendam aos requisitos propostos, recomenda-se identificar características pontuais que justifiquem sua ocorrência. Havendo a ocorrência de eventos que sejam identificados, o dado passa a compor o banco de dados consistidos. Não havendo influência que justifique os valores anômalos identificados, e havendo consistência dessas anomalias no tempo, orienta-se a avaliação em campo dos sensores instalados, de modo a conferir a manutenção e calibração do equipamento.

## RESULTADOS OBTIDOS

Os limites máximos e mínimos definidos para o qualificador dos dados (1), segundo a literatura e limites alcançados pelos equipamentos de medição são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Limites máximos e mínimos que compõe o qualificador (1).**

Parâmetro	Limite Mínimo	Limite Máximo	Fonte
Turbidez (NTU)	0	4.000	YSI, 2019
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0	15	FERNANDEZ, <i>et al.</i> , 2018
pH	0	14	YSI, 2019
Temperatura da água (°C)	-5	40	YSI, 2019; BRYANT, 1977
Condutividade (µs/cm)	0	200.000	YSI, 2019
Clorofila-a (µg/L)	0	400	YSI, 2019
Cianobactérias (µg/L)	0	100	YSI, 2019
Precipitação (mm/h)	0	500	BASE, 2021
Nível (m)	0	20	YSI, 2021

O qualificador (2) teve seus limites definidos através das estatísticas da série de dados analisada, conforme resultados expressos pela Tabela 2.

**Tabela 2. Limites definidos para o qualificador (2).**

Parâmetro	Limite Mínimo	Limite Máximo
Pressão Atmosférica (mBar)	922,5	1.046,2
Condutividade ( $\mu S/cm$ )	10	138,5
Oxigênio dissolvido (mg/L)	6,3	9,7
Cianobactérias ( $\mu g/L$ )	0	1,9
pH	6	8,9
Umidade do ar (%)	28,7	100
Clorofila-a ( $\mu g/L$ )	0	7,5

Os resultados para o qualificador (3) foram definidos de acordo com a relação entre vazão e turbidez da estação RCA-02. A Tabela 3 apresenta as informações estatísticas utilizadas para os dados de vazão da estação RCA-02. A análise foi baseada nos dados monitorados durante o período de agosto de 2017 a março de 2021.

O valor de  $Dq$  é utilizado para a definição dos intervalos de vazão analisados e seu cálculo consistiu na diferença do logaritmo entre a vazão máxima observada e o logaritmo da vazão mínima observada, dividido pelo número de intervalos analisados.

**Tabela 3. Estatísticas dos dados de vazão.**

Estatística das vazões	
Média ( $m^3/s$ )	32,089
Máxima ( $m^3/s$ )	333,086
Mínima ( $m^3/s$ )	0,008
Desvio Padrão	24,405
Intervalos	7
$Dq$	0,662

A Tabela 4 apresenta, para cada intervalo de vazão, a turbidez média e os desvios calculados. Os valores de vazão foram obtidos a partir da aplicação dos níveis medidos na curva-chave já existente para a seção de medição.

**Tabela 4. Valores de turbidez avaliados.**

Intervalo	Vazão ( $m^3/s$ )	Turbidez média ( $\bar{x}$ ) (NTU)	Desvio padrão ( $\sigma$ )	$\bar{x} + 3\sigma$
1	72,60 - 333,04	588,09	635,84	2.495,59
2	15,90- 72,59	91,24	401,05	1.294,40
3	3,50 - 15,89	16,00	180,12	556,36
4	0,76 - 3,49	16,31	29,41	104,55
5	0,17- 0,75	34,89	73,96	256,78
6	0,05 - 0,16	18,24	13,31	58,18
7	0,00 - 0,04	8,80	16,81	59,23

Avaliando os limites calculados, na Tabela 5 são apresentados os limites para o qualificador 3.

**Tabela 5. Qualificador de turbidez da estação RCA-02.**

<b>Intervalo</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Limites de turbidez (NTU)</b>
1	72,60 a 333,04	≤ 2496
2	15,90 a 72,60	≤ 1295
3	3,50 a 15,90	≤ 557
4	0,76 a 3,50	≤ 105
5	0,17 a 0,76	≤ 257
6	0,05 a 0,17	≤ 59
7	Até 0,05	≤ 60

## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Os limites apresentados para o qualificador inicial (1) mostraram-se bastante amplos. Estes resultados correspondem à verificação dos dados obtidos e de identificação de possíveis erros que possam estar inseridos. Esse processo auxilia na identificação de problemas com a sonda e agiliza o processo de correção ou manutenção da estação, buscando evitar a interrupção da medição dos dados.

O qualificador (2) apresentou uma análise estatística da série de dados observados, permitindo visualização dos dados que apresentem discrepância em relação ao padrão da série. Portanto, quando ocorrer a medição de um dado que ultrapasse os limites estabelecidos pelo qualificador (2), o dado será sinalizado como duvidoso e pode ser investigado quanto a consistência da anomalia no tempo. Caso seja identificado um valor pontual, provavelmente representará um erro de medição. Se o valor anômalo se manter em diversas medições (consiste ao longo das medições horárias), pode sinalizar a ocorrência de descalibração do equipamento ou incrustação, sendo importante a manutenção e ajuste da sonda.

A relação entre vazão e turbidez apresentou faixas de limites (valores máximos) para turbidez, de acordo com a vazão. Entretanto, não se observou linearidade crescente entre os parâmetros em todas as faixas analisadas. A faixa 5 de vazões (de 0,17 m<sup>3</sup>/s a 0,75 m<sup>3</sup>/s) apresentou valores médios de turbidez maior que o dobro em relação a faixa 4, com vazões de 0,76 m<sup>3</sup>/s a 3,4 m<sup>3</sup>/s. A não existência de relação linear entre as duas variáveis pode indicar que no corpo hídrico existe a influência de carga externa de sedimentos. O qualificador 3, assim como o 2, sinaliza o dado no banco como *duvidoso*, caso se encontre fora dos limites. Caso o dado passe por todos os qualificadores e esteja dentro dos limites, é classificado como *aprovado*.

## **CONCLUSÕES**

O presente trabalho visou definir critérios para qualificação de dados observados por estações telemétricas do PMQQS, em específico para a RCA-02. Estes critérios são importantes para a obtenção de bancos de dados com dados mais próximos da realidade, identificando anomalias. Os critérios definidos também se fazem importantes para poder sinalizar ajustes e correções necessárias.

O qualificador (1) permitiu filtrar inicialmente os dados, identificando possíveis erros e sinalizando-os no banco de dados bruto como anômalos. Os demais qualificadores (2 e 3), por sua vez, compreendem limites ou métodos mais específicos do local de medição, representando de forma mais característica o comportamento do curso d'água em questão. Os qualificadores não anulam o dado anômalo, apenas sinalizam como duvidoso na ocorrência fora dos limites propostos.

Recomenda-se que cada estação seja avaliada singularmente, mesmo que a metodologia para a definição dos qualificadores seja a mesma para todas as estações. Isto faz-se importante para que se possa avaliar as particularidades e influências relacionadas a cada região, observando o comportamento dos dados medidos para cada estação separadamente, pois os qualificadores (2 e 3) representam as características dos locais medidos.

Ressalta-se que, apesar dos qualificadores auxiliarem e, de certa forma, automatizarem a avaliação de qualidade dos dados medidos, podem apresentar limitações nos parâmetros em que a magnitude do dado possa variar significativamente, com grandes desvios padrão. Portanto, ressalta-se a importância de manutenções dos equipamentos frequentes e verificações dos motivos da ocorrência da variação do dado frente aos limites estabelecidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 mar. 2005. Diário Oficial da União nº 053, seção 1. p. 58-63, 2005. Disponível em: <[http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=450](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450)>. Acesso em: 18 nov. 2022.
2. BRYANT E. 1977. *Climate process & change*. United Kingdom, Cambridge, University Press.
3. DUAL BASE. (2021c). *Referência técnica do equipamento PluviDB*. Fonte: <https://www.dualbase.com.br/front/up/produtos/1553532506-90796227.pdf>
4. FERNANDEZ, A. P., MONTENEGRO, A. P., BRITO, E., HASTENREITER, F. S., SIPIONI, G., AUGUSTO, F., . . . SARAIVA, V. (2018). *Nota Técnica GTA PMQQS nº 80*. Brasília.
5. GONZALEZ, Victor Alberto Romero et al. *METODOLOGIA AUTOMÁTICA PARA A VALIDAÇÃO DE DADOS TELEMÉTRICOS DE NÍVEL NA REDE DE MONITORAMENTO PCJ*. Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019. Disponível em: <<http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/107/XXIII-SBRH0191-1-20190416-142102.pdf>>. Acesso em 17 nov. 2022.
6. LOPES, Walszon Terlizzie Araújo et al. *Sistema para análise de dados hidrológicos-SIADH*. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013. Disponível em: <[http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013\\_PAP013844.pdf](http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013_PAP013844.pdf)>. Acesso em 17 nov. 2022.
7. WMO - METEOROLOGICAL ORGANIZATION, W., 2008. *WMO Guide to Meteorological Instruments And Methods Of Observation*, in: WMO-No. p. 681
8. SANTOS, I. et al. *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: CEHPAR, 2001.
9. TOLEDO, B. Reportagem “Monitorar para gerir”. P22on, 2018. Disponível em: <[www.p22on.com.br/2018/03/10/monitorar-para-gerir/](http://www.p22on.com.br/2018/03/10/monitorar-para-gerir/)>. Acesso em: 17 nov. 2022.
10. WAGNER, R., BOULGER, R., Jr., OBLINGER, C., & SMITH, B. (2006). *Guidelines and Standard Procedures for Continuous Water-Quality Monitors: Station Operation*. Reston, Virginia.
11. WOSIACK, A. C., GUIMARÃES, T. S., FERNANDEZ, A. P., HASTENREITER, F. S., BRITO, E., SARTORI, G., . . . SORRANA, M. (2020). *PROGRAMA DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO SISTEMÁTICO DE ÁGUA E SEDIMENTOS - PMQQS. Revisão Bi-anual do PMQQS*.
12. YSI. (2019). Manual de usuario de EXO. *PLATAFORMA AVANZADA DE ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA*.
13. YSI. (2021). Referência técnica do equipamento Nile 502. Fonte: <https://www.ysi.com/nile>
14. ZHANG, M.; LIU, N.; HARPER, R.; LI, Q.; LIU, K.; WEI, X. & LIU, S. 2017. *A global review on hydrological responses to forest change across multiple spatial scales: Importance of scale, climate, forest type and hydrological regime*. Journal of Hydrology, 546: 44-59.