

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade / Organizador Luis Miguel Schiebelbein. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.
– (Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade; v.1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-024-7

DOI 10.22533/at.ed.247190901

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Política ambiental – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Schiebelbein, Luis Miguel. II. Título. III. Série.

CDD 343.81

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade” aborda uma série de artigos e resultados de pesquisa, em seu Volume I, contemplando em seus 21 capítulos, os novos conhecimentos científicos e tecnológicos para as áreas em questão.

Estrategicamente agrupados na grande área temática de GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, ne nas seções de Meteorologia, Modelagem, Conceitos Aplicados & Estudos de Caso, traz à tona informações de extrema relevância para a área dos Recursos Hídricos, assim como da Sustentabilidade.

Os capítulos buscam de maneira complementar, abordar as diferentes áreas além de concentrar informações envolvendo não só os resultados aplicados, mas também as metodologias propostas para cada tipo de estudo realizado.

Pela grande diversidade de locais e instituições envolvidas, na realização das pesquisas ora publicadas, apresenta uma grande abrangência de condições e permite, dessa forma, que se conheça um pouco mais do que se tem de mais recente nas diferentes áreas de abordagem.

A todos os pesquisadores envolvidos, autores dos capítulos inclusos neste Volume I, e, pela qualidade e relevância de suas pesquisas e de seus resultados, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Ressalta-se ainda e indica-se a consulta ao Volume II, o qual aborda as grandes áreas temáticas de QUALIDADE DA ÁGUA, RECURSOS HÍDRICOS NO ABASTECIMENTO, UTILIZAÇÃO AGRÍCOLA DOS RECURSOS HÍDRICOS & SUSTENTABILIDADE.

Complementarmente, espera-se que esta obra possa ser de grande valia para aqueles que buscam ampliar seus conhecimentos nessa magnífica área da Gestão de Recursos Hídricos, associada à Sustentabilidade. Que este seja não só um material de apoio, mas um material base para o estímulo a novas pesquisas e a conquista de resultados inovadores.

Luis Miguel Schiebelbein

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A FLORESTA E A DINÂMICA HIDROLÓGICA DE NASCENTES	
Jéssica Fernandez Metedieri	
Mariana Santos Leal	
Kelly Cristina Tonello	
DOI 10.22533/at.ed.2471909011	
CAPÍTULO 2	17
REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL: CONCEITOS E CASOS DE ESTUDO	
Aline Pires Veról	
Bruna Peres Battemarco	
Matheus Martins de Sousa	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.2471909012	
CAPÍTULO 3	34
ANÁLISE DA VARIABILIDADE TEMPORAL DE BASE NA PROPAGAÇÃO DA ONDA DIFUSA EM UM RIO	
Maria Patricia Sales Castro	
Patrícia Freire Chagas	
Karyna Oliveira Chaves de Lucena	
Raimundo Oliveira de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.2471909013	
CAPÍTULO 4	43
PLANO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PARA OS ASSENTAMENTOS DOS MUNICÍPIOS DE DELMIRO GOUVEIA E ÁGUA BRANCA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO	
Eduardo Jorge de Oliveira Motta	
DOI 10.22533/at.ed.2471909014	
CAPÍTULO 5	53
ZONEAMENTO DE ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE RELEVANTES PARA A CONSERVAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA APLICADA À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VELOSO (SUB-BACIA DO RIO PARAPEBA), MINAS GERAIS, BRASIL	
Joselaine Aparecida Ribeiro	
Thiago Vieira da Silva Matos	
Antônio Pereira Magalhães Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.2471909015	
CAPÍTULO 6	65
PROJETO DA PAISAGEM NOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA - CASO DA BACIA DO RIO JOANA	
Isadora Tebaldi	
Ianic Bigate Lourenço	
Aline Pires Veról	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.2471909016	

CAPÍTULO 7	82
GESTÃO DA DRENAGEM URBANA EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAJAÍ AÇU	
Fabiane Andressa Tasca Roberto Fabris Goerl Jakcemara Caprário Aline Schuck Rech Alexandra Rodrigues Finotti	
DOI 10.22533/at.ed.2471909017	
CAPÍTULO 8	92
ANÁLISE AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESPAÇO URBANO DE CAMPO GRANDE/MS	
Eva Faustino da Fonseca de Moura Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.2471909018	
CAPÍTULO 9	108
APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO A BARRAGENS DO ESTADO DE MINAS GERAIS	
Carlos Eugenio Pereira Maria Teresa Viseu Marcio Ricardo Salla Kevin Reiny Rocha Mota	
DOI 10.22533/at.ed.2471909019	
CAPÍTULO 10	117
INFLUÊNCIA PLUVIOMÉTRICA NA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS NO MUNICÍPIO DE IPOJUCA - PE	
Fernanda Soares de Miranda Torres Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima Margarida Regueira da Costa Alexandre Luiz Souza Borba Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff Roberto Quental Coutinho	
DOI 10.22533/at.ed.24719090110	
CAPÍTULO 11	125
CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DOS AQUÍFEROS JUROCRETÁCEOS DO OESTE DO RIO GRANDE DO SUL	
Guilherme Vargas Teixeira Antonio Pedro Viero Romelito Regginato	
DOI 10.22533/at.ed.24719090111	
CAPÍTULO 12	134
AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DO TOCANTINS	
Fernán Enrique Vergara Viviane Basso Chiesa Cecília Amélia Miranda Costa	
DOI 10.22533/at.ed.24719090112	

CAPÍTULO 13 143

ATENUAÇÃO DE ONDAS EM MARGENS DE RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS PELA PRESENÇA DE VEGETAÇÃO NO FUNDO – ANÁLISE NUMÉRICA ATRAVÉS DO MODELO SWAN-VEG

Adriana Silveira Vieira
Germano de Oliveira Mattosinho
Geraldo de Freitas Maciel

DOI 10.22533/at.ed.24719090113

CAPÍTULO 14 153

MODELO DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE TOMADA DE DECISÃO PARA CONTROLE DE CHEIAS NA ÁREA URBANA DE ITAQUI-RS

Francisco Lorenzini Neto
Marcelo Jorge de Oliveira
Nájila Souza da Rocha
Raul Todeschini
Rafael Cabral Cruz

DOI 10.22533/at.ed.24719090114

CAPÍTULO 15 163

PREVISÃO DE VAZÃO DE CHEIA EM UM TRECHO DA BACIA DO RIO POTENGI

Patrícia Freire Chagas
Maria Patricia Sales Castro
Fernando José Araújo da Silva
Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho
Raimundo Oliveira de Souza

DOI 10.22533/at.ed.24719090115

CAPÍTULO 16 173

SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DO MODELO SWAT EM UMA BACIA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: BACIA DO RIO MACHADINHO/RO

Vinicius Alexandre Sikora de Souza
Marcos Leandro Alves Nunes
Otto Corrêa Rotunno Filho
Claudia Daza Andrade
Vitor Paiva Alcoforado Rebello

DOI 10.22533/at.ed.24719090116

CAPÍTULO 17 183

ABASTECIMENTO HUMANO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CEARÁ MIRIM RN

Vera Lucia Rodrigues Cirilo
João Abner Guimarães Junior
Lara Luana Cirilo Silva
Priscila Gosson Cavalcanti

DOI 10.22533/at.ed.24719090117

CAPÍTULO 18	191
ELABORAÇÃO DE CONSISTÊNCIA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS: ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE TUCURUÍ- PARÁ	
Alcione Batista da Silva	
Laysse Alves Ferreira	
Lucas Rodrigues do Nascimento	
Andressa Magalhães Gonçalves	
Rafael Oliveira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.24719090118	
CAPÍTULO 19	200
ANÁLISE DO IMPACTO DO USO DE DADOS DIÁRIOS OU MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS NA SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA COM O MODELO MGB-IPH	
Bibiana Rodrigues Colossi	
Daniela Santini Adamatti	
Fernando Mainardi Fan	
Paulo Rógenes Monteiro Pontes	
DOI 10.22533/at.ed.24719090119	
CAPÍTULO 20	211
MÉTODOS NUMÉRICOS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADOS À DETECÇÃO DE ANOMALIAS EM DADOS HIDROLÓGICOS	
Alana Renata Ribeiro	
Mariana Kleina	
DOI 10.22533/at.ed.24719090120	
CAPÍTULO 21	220
CONCEPÇÃO SISTÊMICA PARA SOLUÇÕES DE CONTROLE DE CHEIAS URBANAS EM VILA VELHA, ES	
Paulo Canedo de Magalhães	
Matheus Martins de Sousa	
Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira	
Osvaldo Moura Rezende	
Victor Augusto Almeida Fernandes de Souza	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.24719090121	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	236

MÉTODOS NUMÉRICOS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADOS À DETECÇÃO DE ANOMALIAS EM DADOS HIDROLÓGICOS

Alana Renata Ribeiro

Programa de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, UFPR
Curitiba, Paraná

Mariana Kleina

Departamento de Engenharia de Produção, UFPR
Curitiba, Paraná

RESUMO: Séries de dados hidrológicos confiáveis e consistentes, incluindo cota fluviométrica, vazão e precipitação, são fundamentais para a realização de estudos e operação de empreendimentos dos mais variados tipos, tais como: operações de reservatórios em usinas hidrelétricas; gestão de eventos críticos: cheias e estiagens; projetos de irrigação ou abastecimento público. Com isso, o objetivo deste trabalho é apresentar métodos desenvolvidos para identificar anomalias em séries de dados hidrológicos de cota e precipitação baseados em métodos numéricos (múltiplos *smooth splines*) e redes neurais artificiais (*Self-Organizing Maps*), respectivamente. Operando em tempo quase real, os métodos estimam probabilidades dos dados serem anômalos e para o caso dos dados de cota propõem sugestões de correção das anomalias. São utilizadas séries históricas de dados medidos automaticamente pela Companhia Energética de Minas Gerais

(CEMIG) para a aplicação e avaliação dos resultados, demonstrando bom desempenho na identificação de anomalias, tanto para cota quanto para precipitação.

PALAVRAS-CHAVE: Consistência de dados, métodos numéricos, probabilidade de anomalia.

ABSTRACT: Reliable and consistent hydrological data, including river stage, river flow and precipitation, are critical for studies and operations of all kinds, like: reservoir operation in hydro power plants, risk management in floods and dry periods, water supply and irrigation. This work has the objective to show the developed methods to identify bad data in hydrological data series of river stage and rainfall. These methods are the multiple smooth splines numerical method and self-organizing maps artificial neural networks. Working in near real time schedule, they estimate the probability of recent data to be an anomaly. For river stage data the procedure compute suggested values for data with high anomaly probability. These methods were applied over historical data measured by automatic gauges from Power Agency of Minas Gerais State (CEMIG). The results showed good performance to identify bad data both in river stage and rainfall data.

KEYWORDS: Data quality assurance, numerical methods, anomaly probability.

1 | INTRODUÇÃO

Proporcionar precisão à decisão e por consequência, eficiência em operações realizadas no planejamento do sistema energético e de diversos outros sistemas é o principal motivo para que se obtenham séries de dados hidrológicos confiáveis (Ribeiro *et al.*, 2014).

Breda (2012) ressalta que, primeiramente, deve-se ter em mente os erros mais típicos das séries de dados para que se elabore um controle de qualidade de modo que os algoritmos futuros consigam remover as falhas com padrões recorrentes, com isso seu trabalho teve como objetivo visualizar grandes conjuntos de dados de chuva (mm) e elencar os diferentes tipos de erros em séries de alta frequência (15 minutos e 1 hora). Em outro trabalho Breda (2013) elencou os tipos de erros encontrados em séries de dados de cota fluviométrica facilitando a construção de um controle de qualidade para este tipo de informação.

Por meio dos resultados obtidos por Breda (2012, 2013); dos estudos realizados por Ribeiro (2014) (no sentido de detectar anomalias em dados de vazão através das redes neurais artificiais de Mapas Auto-Organizáveis (*Self-Organizing Maps* - SOM) (Kohonen, 2011), e redes neurais de Funções de Base Radial (*Radial Basis Functions* - RBF) com o Algoritmo de Ajuste de Decaimento Dinâmico (Oliveira, 2004) e também de métodos de interpolação de funções *smooth splines* (Ruggiero, Lopes, 1996)); dos resultados da aplicação de múltiplos *smooth splines* (à detecção de anomalias em dados de cota fluviométrica obtidos por Ribeiro *et al.* (2014)); neste trabalho objetiva-se apresentar os resultados da aplicação de múltiplos *smooth splines* na identificação e correção de falhas nas séries de dados de cota fluviométrica de alguns postos hidrológicos monitorados pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), e da aplicação da rede neural artificial SOM a algumas séries de dados de precipitação de estações pertencentes à CEMIG.

Posteriormente, curvas de característica operacionais relativas (Relative Operating Characteristic - ROC) (Jolliffe e Stephenson, 2003) são utilizadas para análise dos resultados obtidos, estimando probabilidades dos dados de cota e precipitação serem espúrios, com o intuito de se construir um sistema de detecção de anomalias em tempo quase real.

2 | MÚLTIPLOS *SMOOTH SPLINES* E DADOS DE COTA FLUVIOMÉTRICA

O método numérico de interpolação de funções chamado aqui de múltiplos *smooth splines* é descrito detalhadamente por Ribeiro *et al.* (2014) e aplicado, neste trabalho, em séries históricas de dados de cota fluviométrica de 9 estações hidrológicas monitoradas pela CEMIG. O objetivo principal desta aplicação é realizar previsões de elementos de amostras constituídas por dados horários de cota, e comparar os resultados destas previsões aos dados já existentes a fim de apontar

anomalias por meio do cálculo do quadrado da diferença entre o valor previsto e o valor observado, de modo que quanto mais significativa for esta diferença, mais anômalo o dado é considerado.

A função *smooth.spline* do software R (Team, 2012) é utilizada para ajustar as funções *smooth splines* cúbicas aos dados fornecidos através de uma matriz de 13 colunas (visando a predição da sétima coluna) construída com os dados de cota (Equação 1), em que cada uma de suas linhas representa uma amostra a ser estudada, e para cada uma destas amostras faz-se a previsão de seus elementos intermediários considerando-se o comportamento dos 6 elementos passados e dos 6 futuros.

$$A_{spline} = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & \dots & c_7 & \dots & c_{12} & c_{13} \\ c_2 & c_3 & \dots & c_8 & \dots & c_{13} & c_{14} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ c_m & c_{m+1} & \dots & c_{m+6} & \dots & c_{m+11} & c_{m+12} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Assim como em Ribeiro *et al.* (2014) aplicam-se três diferentes tipos de *smooth splines*: um *splineCompleto* que considera a amostra inteira, um *splinePré* que interpola apenas os 6 primeiros valores da amostra e prevê o sétimo, e um *splinePós*, que interpola apenas os últimos 6 valores e prevê um valor anterior (o sétimo da amostra). Com isso pode-se realizar uma comparação destas três previsões para que se opte pelo melhor resultado para cada configuração de valores de cota obtido.

A função *smooth.spline* possui um parâmetro de calibração, denominado de parâmetro de suavidade, que pode assumir valores no intervalo (0,1], sua variação determina o quão suave ou ruidoso será o resultado da interpolação. Valores próximos de zero fazem com que a interpolação obedeça ao comportamento dos pontos pertencentes à função, e valores que se aproximem de um suavizam a interpolação.

Este parâmetro deve ser definido previamente, para isso testes empíricos foram realizados adotando uma variação entre os valores de 0,1 a 0,9 com passo de 0,1 em cada um dos postos de monitoramento, e para avaliação dos resultados calculam-se as áreas sob as curvas (AUC) de característica operacionais relativas (ROC), os valores assumidos por AUC pertencem ao intervalo [0,1], e quanto mais próximos de um maior a acurácia do modelo.

Para a construção da curva ROC utilizam-se funções do pacote ROCR do software R (Team, 2012). A lista de postos apresentados na Tabela 1 mostra as estações hidrológicas utilizadas na validação dos testes e os valores das áreas sob a curva ROC de acordo com a variação dos parâmetros de suavização

Tabela 1 – Valores das áreas sob as curvas ROC por parâmetro de suavização

Postos	Parâmetros de suavização								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Fazenda Cambaúba	0,931	0,936	0,934	0,945	0,941	0,945	0,948	0,93	0,933
Fazenda Guariroba	0,979	0,982	0,99	0,996	0,997	0,995	0,995	0,994	0,994
Grão Mogol	0,908	0,912	0,923	0,943	0,942	0,945	0,948	0,937	0,937
Ponte BR-146	0,995	0,996	0,998	0,998	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997
Porto Andorinhas	0,974	0,983	0,989	0,987	0,962	0,925	0,908	0,905	0,904
Porto Indaiá	0,969	0,973	0,973	0,974	0,975	0,971	0,968	0,966	0,966
Porto Mesquita	0,996	0,996	0,996	0,998	0,998	0,996	0,996	0,996	0,996
Porto Pará	0,883	0,884	0,874	0,889	0,888	0,889	0,897	0,872	0,873
Vila Terra Branca J.	0,985	0,987	0,99	0,991	0,99	0,989	0,989	0,989	0,989

Segundo a Tabela 1, apenas para a estação de Porto Pará foram encontrados valores de AUC abaixo, porém muito próximos, de 0,9, portanto, pode-se concluir que a utilização dos múltiplos *smooth splines* para os postos da CEMIG é perfeitamente aplicável no sentido de retornar valores muito consistentes. Um resumo dos resultados obtidos é apresentado na Tabela 2 e na Figura 1.

Generalizando para outras estações pertencentes ao estado de Minas Gerais, podem-se estimar valores próximos aos da Tabela 2 por meio das similaridades entre os postos hidrológicos, ou ainda, se os postos possuírem séries históricas de dados passados mesmo que não consistidos esses valores podem ser calculados através das funções desenvolvidas.

Tabela 2 - Valor do parâmetro de suavização por posto para probabilidade de o dado ser anômalo

Posto	Faz. Cambaúba	Faz. Guariroba	Grão Mogol	Ponte BR-146	P. Andorinhas	P. Indaiá	P. Mesquita	P. Pará	Vila T.B. J.
Parâmetro de Suavização	0,7	0,5	0,7	0,5	0,3	0,5	0,5	0,7	0,4
AUC	0,948	0,997	0,948	0,999	0,99	0,975	0,99	0,90	0,99

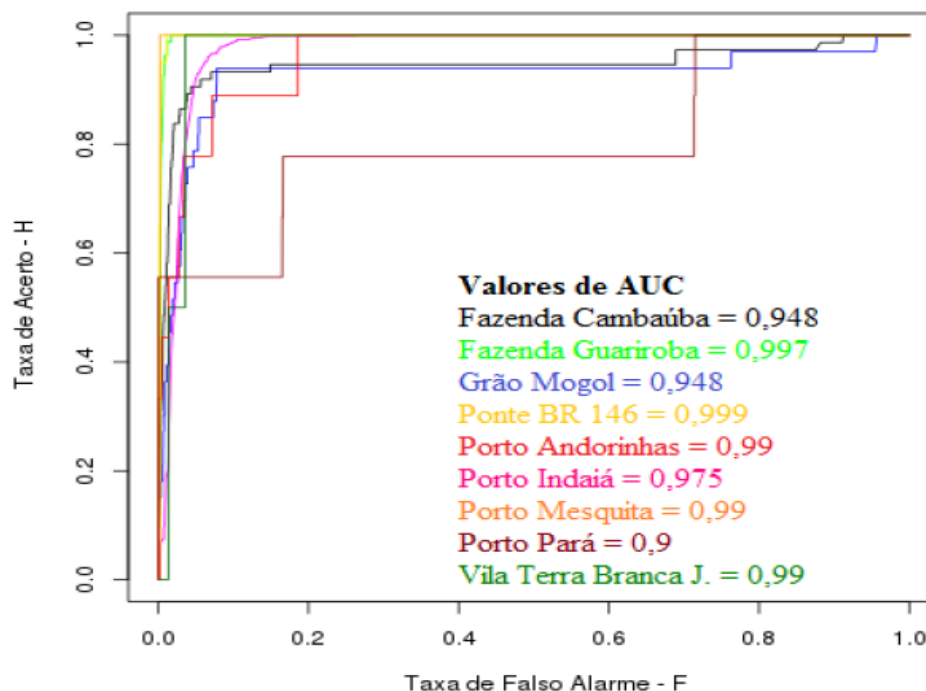


Figura 1: Curvas ROC e valores de AUC para as estações monitoradas pela CEMIG

2.1 Sugestões para preenchimento e correção das anomalias apontadas

Com a aplicação dos múltiplos *smooth splines*, rotinas que envolvem soluções de problemas de otimização dos resultados obtidos foram desenvolvidas a fim de criar sugestões de valores para os dados de cota fluviométrica existentes ou faltantes. Devido à aplicação de três diferentes *splines*, podem-se obter três diferentes sugestões e então opta-se pela melhor delas de acordo com as observações dos dados de cota anteriores e posteriores ao valor analisado.

Testes empíricos também foram realizados a fim de determinar o melhor parâmetro de suavização para os três *splines*, desta vez com o objetivo de sugerir valores mais consistentes aos dados faltantes ou com probabilidade alta de serem anômalos. Para os postos de Porto Andorinhas, Porto Indaiá e Porto Mesquita o melhor valor encontrado para o parâmetro é 0,4, para os demais postos 0,3 é o valor mais apropriado, e novamente para os postos que não são contemplados neste estudo podem ser estimados valores próximos por meio de possíveis similaridades encontradas entre as estações hidrológicas.

3 | REDE NEURAL SOM E DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Esta etapa tem como objetivo utilizar a rede neural de mapas auto-organizáveis (*Self-Organizing Maps – SOM*) (Kohonen, 2001) para identificar falhas em séries de dados pluviométricos, em especial falhas não detectadas por um controle de qualidade básico.

Assim como anteriormente pretende-se estimar a probabilidade de um dado ser considerado anômalo e operar em tempo quase real. Para o treinamento da

rede neural diferentemente da aplicação do *smooth spline* existe a necessidade de consistência dos dados previamente monitorados (fornecidos por meio da aplicação de um controle de qualidade básico). Novamente opta-se pela utilização de uma abordagem bidirecional para a solução do problema de controle de qualidade que detecta as anomalias utilizando três dados anteriores e três posteriores ao dado analisado.

A grande diferença entre a aplicação anterior do método *smooth spline* a dados de cota fluviométrica e a aplicação da rede SOM a dados de precipitação, é que devido à complexidade dos dados de precipitação e das anomalias serem relativamente maiores que dos dados de cota, esta consistência é realizada em grupos de estações próximas e semelhantes entre si. Desta forma, a fim de se avaliar o método são analisadas séries históricas de 11 postos de monitoramento pertencentes ao estado de Minas Gerais, fornecidas pela CEMIG, formando dois grupos de quatro estações e cada, e outro grupo com três estações, denominados GA, GB e GC. Na tabela 4, são apresentados os nomes das estações pertencentes a cada grupo bem como suas coordenadas geográficas de latitude e longitude.

Tabela 4 - Grupos de estações e suas coordenadas

Grupos	Estações	Latitude	Longitude
GA	Nova Ponte	-19.133	-47.694
	Fazenda Guariroba	-19.237	-47.802
	Fazenda Cambaúba	-19.414	-47.043
	Ponte BR146	-19.304	-46.834
GB	Porto das Andorinhas	-19.281	-45.289
	Porto Indaiá	-18.677	-45.631
GB	Porto Mesquita	-19.173	-44.702
	Porto Pará	-19.287	-45.110
GC	Grão Mogol	-16.592	-42.916
	UHE Irapé	-16.741	-42.571
	Vila Terra Branca Jusante	-17.315	-43.213

Os dados de precipitação de cada posto são acumulados em séries horárias a fim de unificar a aplicação e a avaliação do método, pois muitos deles possuem registros em diferentes frequências. Para processamento e análise da metodologia proposta faz-se uso da função *som* do pacote *kohonen* pertencente ao software R (Team, 2012).

Analisando os resultados obtêm-se indicadores de anomalias por meio de normalização através de funções pertencentes ao pacote *multic*, transformam-se os indicadores de anomalias em probabilidades dos dados serem anômalos, ou seja, encontra-se uma medida da tendência do dado ser uma anomalia. Após a obtenção dos indicadores de anomalias constroem-se novamente curvas ROC e calculam-se os valores de AUC.

A figura 2 representa a curva ROC construída a partir dos resultados obtidos com a aplicação da rede SOM aos grupos de estações monitoradas pela CEMIG. Os valores ótimos, iguais a um, das áreas obtidas para os três grupos, GA, GB e GC, passaram por uma análise (tanto através da aplicação do controle de qualidade básico quanto pela análise visual) pela qual se concluiu que pouquíssimos dados na série não consistida são realmente anômalos, fazendo com que a rede facilmente os detectasse e obtivesse uma taxa de erro insignificante, demonstrando que a taxa de acerto alcançada pela rede é muito alta se comparada com a taxa de falso alarme. Assim, pode-se concluir que o SOM pode ser utilizado a fim de detectar anomalias em uma série de dados de precipitação, se for devidamente calibrado.

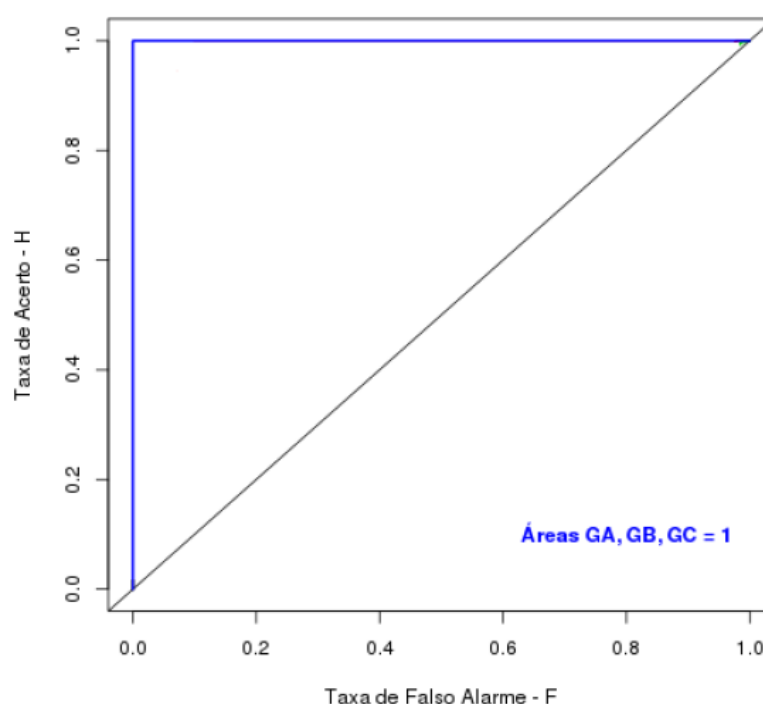


Figura 2 - Curva ROC dos grupos de estações monitoradas pela CEMIG

A tabela 5 exemplifica os resultados obtidos para o grupo GA, formado por quatro estações da CEMIG, em que as colunas p1o, p2o, p3o, p4o, representam os dados de precipitação referentes ao dia 19/11/2013 da 00 hora às 09 horas, nas quais se percebe claramente a presença de duas anomalias nos dados da estação representada por p1o, nas horas 02 e 05. Por sua vez, as colunas P1, P2, P3, P4, representam as respectivas probabilidades aproximadas dos dados de cada uma das estações serem anômalos, obtidas pela aplicação do método proposto, nelas pode-se notar a certeza, por meio das altas probabilidades, de que os referidos dados das horas 02 e 05 da primeira estação são realmente classificados como anômalos pela rede neural SOM, os campos de precipitação nos quais constam os valores NA significam que este dado é faltante, portanto a probabilidade associada a ele também será NA.

Tabela 5 - Resultados: exemplo de probabilidades do grupo GA da CEMIG

Data	Hora	p1o	p2o	p3o	p4o	P1	P2	P3	P4
19/11/13	00	0	0	0	NA	0	0	0	NA
	01	4	0	0	NA	0	0	0	NA
	02	156	0	0	0	0,99	0	0	0
	03	4	0	0	0	0	0	0	0
	04	0	0	0	0	0	0	0	0
	05	156	0	0	NA	0,85	0	0	NA
	06	0	0	0	NA	0	0	0	NA
	07	0	0	0	0	0	0	0	0
	08	0	0	0	0	0	0	0	0
	09	0	0	0	0	0	0	0	0

3.1 Sugestões para preenchimento e correção das anomalias apontadas

Com dados de precipitação, a tarefa de manter séries históricas devidamente consistidas torna-se ainda mais trabalhosa devido à natureza dos dados, as precipitações acumuladas em escalas horárias podem ser consideradas muito heterogêneas, com isso nesta etapa torna-se inviável gerar sugestões de valores para registros faltantes ou reprovados assim como foi relatado para os dados de cota fluviométrica.

4 | CONCLUSÕES

O trabalho de consistência de dados hidrológicos em geral, tem-se tornado cada vez mais árduo devido ao grande crescimento no número de postos de monitoramento ocasionando um acúmulo das informações obtidas. Com isso os principais objetivos deste trabalho são: aplicar métodos de interpolações de funções (múltiplos *smooth splines*) em dados de cota fluviométrica com o intuito de estimar probabilidades relacionadas a dados anômalos, bem como sugerir valores para sua correção, e aplicar uma rede neural artificial (SOM) aos dados de precipitação com o mesmo objetivo de estimar probabilidades, porém devido à sua heterogeneidade sem sugestões de correção.

Por meio de tratamentos estatísticos, envolvendo curvas ROC, avaliações destas aplicações são realizadas no sentido de justificar sua utilização, já que, de maneira geral, todos os resultados obtidos são considerados satisfatórios. Com isso, espera-se utilizar os métodos propostos como parte integrante de um sistema de suporte à decisão na identificação de dados anômalos, compondo o processo de consistência dos dados hidrológicos, tornando-os úteis aos mais diversos sistemas.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) pelos recursos

providos através de projeto de pesquisa e desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

BREDA, Â. (2012). **Tipos de inconsistências encontradas em série de chuva registradas por pluviômetros de báscula**. In *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Gramado, Set. 2012.

BREDA, Â. (2013). **Recordar, repetir e elaborar: padrões de inconsistências no monitoramento automático de cota fluviométrica**. In *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Bento Gonçalves, Nov. 2013.

JOLLIFFE I., STEPHENSON D. (2003). **Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science**. Wiley, England.

KOHONEN, T. (2001). **Self-Organizing Maps**. Springer, Berlin.

OLIVEIRA, A. L. I. (2004). **Neural networks forecasting and classification based techniques for novelty detection in time series**. Tese de Doutorado. UFPE, Recife, Dez. 2004.

RIBEIRO, A. R. (2014). **Métodos numéricos aplicados à detecção de anomalias em dados de vazão**. Dissertação de Mestrado. UFPR, PPGMNE, Curitiba, Fev. 2014.

RIBEIRO, A. R.; LEITE, E. A.; GOBBI, M. F.; COSTA, D. M. B. (2014). **Smooth splines aplicados à detecção de anomalias em dados de cota fluviométrica**. In *Anais do IV Simpósio de Métodos Numéricos Computacionais*, Curitiba, Nov. 2014.

RUGGIERO, M. A. G.; LOPES, V. L. da R. (1996). **Cálculo Numérico: Aspectos Teóricos e Computacionais**. Pearson, São Paulo.

TEAM R.C. (2012). **R: A language and environment for statistical computing**. In <http://www.R-project.org/>.

SOBRE O ORGANIZADOR

LUIS MIGUEL SCHIEBELBEIN Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (1997) e mestrado em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná (2006), Doutorado em Agronomia - Fisiologia, Melhoramento e Manejo de Culturas, pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2017). Atualmente é Professor dos Cursos de Agronomia, Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e Superior Tecnológico em Radiologia e de Pós-Graduação em Agronegócio e Gestão Empresarial do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE). É revisor da Revista de Ciências Agrárias - CESCAGE, Professor Colaborador do Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) . Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agricultura de Precisão, atuando principalmente nos seguintes temas: Agricultura de Precisão, Geoprocessamento, Modelagem e Ecofisiologia da Produção Agrícola, Agrometeorologia, Hidrologia, Mecanização, Aplicação em Taxa Variável, Fertilidade do Solo e Qualidade.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-024-7

