

Avaliação de uma Rede Neural Artificial como Estimador Temporal Pluviométrico no Sistema de Abastecimento Cantareira

Bruno Alberto Soares Oliveira ¹, Matheus Soares Nametala ², Braylan Rawlison Castoril ³, Marcos Diego Catalano ⁴, Ciniro Aparecido Leite Nametala ⁵

Resumo

Dois importantes aspectos do abastecimento público de água são a situação dos mananciais e o estudo da pluviometria que incide sobre estes. Neste trabalho é avaliada a aplicação de uma Rede Neural Artificial (RNA) *Perceptron Multi-Camadas* (MLP) utilizando como objeto de aplicação os dados de pluviometria acumulada mensal oriundos do Sistema Cantareira. O treinamento da MLP foi realizado tomando-se por base as medições pluviométricas de outros cinco grandes sistemas brasileiros. Os resultados obtidos mostraram que foi possível cumprir o objetivo proposto e validar a MLP como alternativa válida à substituição, em casos oportunos, aos métodos de medição convencionais, em especial, os manuais como o pluviômetro.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais; Previsão Pluviométrica; Experimentação; Inteligência Artificial.

Abstract

Two important aspects of the public supply of water are the situation of the water sources and the study of the rainfall that affects them. In this paper the application of an Artificial Neural Network of Multilayer Perceptron (MLP) is evaluated using the monthly cumulative rainfall from Cantareira System. The MLP training was carried out based on rainfall measure of the five other large Brazilian systems. The results showed that it was possible to fulfill the proposed objective and validated the MLP as a valid alternative to substitute, in appropriate cases, the conventional measurement methods, especially non-automatic methods such as the pluviometer.

Keywords: Artificial Neural Networks; Rainfall Forecasting; Experimentation; Artificial Intelligence.

¹Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Bambuí, Minas Gerais, E-mail: brunoalbertobambui@gmail.com

²Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Bambuí, Minas Gerais, E-mail: matheus.nametala@gmail.com

³Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Bambuí, Minas Gerais, E-mail: brayan.rawlison@gmail.com

⁴Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Bambuí, Minas Gerais, E-mail: diego.catalano@ifmg.edu.br

⁵Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Bambuí, Minas Gerais, E-mail: ciniro.nametala@ifmg.edu.br

1 Introdução

Imprescindível para conservação da vida, a água possui valor econômico, ambiental e social, o que demonstra a importância do planejamento e da gestão dos recursos hídricos. Segundo (CPRM, 2016), para o aproveitamento inteligente dos recursos hídricos, é necessário compreender o comportamento das bacias hidrográficas, considerando suas distribuições espaciais e temporais.

(LIMA, 2008) define que a precipitação é a entrada de água na bacia, sendo um dos tipos de análises mais comuns o cálculo de precipitação em determinada área. Nesse caso, por exemplo, tem-se a estimativa de precipitação em uma microbacia a partir de dados pontuais de vários pluviômetros distribuídos ao longo da área. A chuva, assim como outras formas de precipitação, é medida em termos de altura de água que se acumularia numa superfície plana e impermeável (aferido em termos de milímetros de altura de água). No caso de um pluviômetro, expõe-se um recipiente com abertura cilíndrica, no qual a altura da água é calculada de acordo com a abertura do pluviômetro.

De acordo com (CEMADEN, 2013) existem três tipos de pluviômetros: os convencionais, os semi-automáticos e os automáticos. Os convencionais armazenam a quantidade de chuva e a medição é feita e anotada manualmente. Os semi-automáticos medem e armazenam a informação. A leitura é feita por meio de um painel digital. Os automáticos medem, armazenam e transmitem automaticamente a informação sobre a quantidade de chuva.

O uso de pluviômetros, no entanto, pode não ser sempre uma boa escolha aos contextos de medição. Isso ocorre pois, quando considerasse as alternativas automáticas e semiautomáticas, deve ser considerado por consequência o alto custo de aquisição e instalação, pois também, em geral, devem ser utilizadas diversas unidades para melhor precisão em apenas uma área. Já os manuais, apesar de serem financeiramente baratos, exigem deslocamento de um indivíduo ao local da instalação para conferência da precipitação diariamente. Neste

sentido, pode-se citar problemas importantes como custos de deslocamento para áreas em muitas vezes de difícil acesso, possíveis erros humanos na leitura e maior sensibilidade às intempéries.

O presente estudo avalia a possibilidade de utilização de uma RNA MLP com o objetivo de realizar previsões para precipitação diária de um dos maiores sistemas de captação de água do Brasil, o Sistema Cantareira. Utilizando como entrada os dados pluviométricos de outros cinco sistemas do estado de São Paulo, sendo eles, o Alto Tietê, Cotia, Guarapiranga, Rio Grande e Rio Claro, buscou-se aproveitar a correlação constatada entre os períodos de alta e baixa precipitação nestes ambientes paralelos ao Cantareira. A hipótese aqui avaliada diz respeito à possibilidade de se reduzir custos com possíveis coletas de dados, custos como de manutenção e serviços, além de, inclusive, em alguns casos, possíveis danos ao meio ambiente. Isso, desde que a margem de erro observada seja considerada tolerável pelos interessados no método.

O trabalho ora presente está dividido, a partir desta seção de introdução em mais outras seis sendo, na segunda, a caracterização do problema, na terceira, trabalhos relacionados, na quarta, o referencial teórico, na quinta, a metodologia empregada, na sexta, os resultados obtidos, e, na sétima e última, uma conclusão.

2 Caracterização do problema

O Sistema Cantareira produz metade da água consumida pelos 19 milhões de habitantes da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Considerado um dos maiores sistemas produtores de água do mundo, produz 33 mil litros de água por segundo, possuindo uma área de aproximadamente 228 mil hectares, e abrange 12 municípios (WHATELY; PILAR, 2007).

Para realizar a coleta de diversos dados pontuais em um determinada área, exige-se gasto com colaboradores e com manutenção destes operários, bem como de equipamentos que precisam verificar os níveis de água dos pluviômetros antes que a mesma evapore. Tendo

isso em vista, de acordo com (LIMA, 2008), os pluviômetros são, em geral, verificados diariamente com a finalidade de evitar erros de medições em áreas florestadas. Além disso, cada pluviômetro deve ser instalado em clareiras de tamanho tal que um observador possa fazer uma visada radial de 45° a partir do pluviômetro. Alguns radiologistas sugerem instalar o aparelho em torres acima das copas das árvores, porém o efeito que o vento pode causar, poderia atrapalhar ainda mais as medições.

Assim, apesar de ser o método mais comumente empregado, o uso do pluviômetro se mostra pouco propício à coleta diária, impondo condições de risco aos indivíduos responsáveis pelo ato de medição em si. Além disso, há que se levar em conta que a coleta já é feita em outros sistemas de abastecimento. Neste sentido, a seguir, será explicada a RNA MLP e, na sequência, a análise de dados que indica que as medidas já feitas em dados sistemas poderiam servir para estimar a pluviometria em outros, neste caso, no Cantareira.

3 Trabalhos relacionados

(DANTAS, 2017), propuseram estimar a precipitação na estação chuvosa em Diamantina (MG), aplicando RNA's. Utilizou-se a análise de séries temporais e a melhor rede encontrada foi a do perfil de função de base radial. A RNA apresentou um erro médio de 10%. A média de precipitação no período de aplicação da rede foi 1.099 mm, enquanto a estimativa média foi de 1.128 mm.

(KAWASE; COUTINHO; SILVA, 2015), também por meio de RNA's, utilizaram a arquitetura MLP para predição pluviométrica no município de Paty de Alferes - RJ. Foi empregada uma base de dados constituída da série histórica dos valores de precipitação total mensal nos meses do verão, referente à estação Avelar, localizada no município, obtida junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de 1993 a 2013, totalizando 84 meses de observação. O erro obtido pela rede foi de 0,0319, que equivale a 3,2% da precipitação total referente aos últimos 4 (qua-

tros) verões, no período de 2010 a 2013.

(AMORIM, 2014), realizaram um estudo em 245 estações pluviométricas do Estado de Alagoas e Pernambuco, das quais foram utilizadas como parâmetro de entrada da RNA, informações como latitude, longitude, altitude e precipitação, todos os parâmetros obtidos a partir de estações próxima à estação base. Foram empregados 5 procedimentos diferentes para o preenchimento de falhas de dados pluviométricos. No entanto, a aplicação de redes neurais mostrou diferença estatística significativa para apenas um dos métodos concorrentes testados.

(SOUSA; SOUSA, 2006), utilizaram uma RNA do tipo MLP para modelar o processo chuva-vazão com o objetivo de prever a vazão média mensal na seção transversal do rio Paraíba, a montante de Caraúbas, a partir de totais mensais precipitados. Uma das arquiteturas avaliadas foi a de uma RNA que apresentou os melhores resultados de previsão de vazão média mensal, mas não previu muito bem os picos de cheia. Nessa arquitetura a raiz do erro quadrático foi 0,34; O erro percentual relativo médio foi de 6,85 e o erro médio absoluto ficou em 0,33. A RNA foi construída para dados de entrada (precipitação) e saída (vazão) que apresentaram sazonalidade e forte relação não-linear, além de a chuva apresentar alta variabilidade espaço-temporal.

(FERREIRA et al., 2011) desenvolveram um modelo de previsão de vazão e um modelo de transformação precipitação-vazão para a bacia do Ribeirão João Leite, em Goiás, utilizando RNA com múltiplas camadas e treinamento pelo algoritmo de Levenberg-Marquardt. Elaborou-se a entrada da RNA a partir das séries históricas dos dados diários de precipitação e vazão observadas nos postos pluviométricos e fluviométricos existentes ao longo da bacia em um período de seis anos, de 1991 a 1997. O cálculo da precipitação média diária foi realizado pelo método de Thiessen. O uso do algoritmo de Levenberg-Marquardt possibilitou explorar diversas combinações de parâmetros de configuração para escolha do melhor modelo, com melhores resultados que

os modelos conceituais existentes.

4 Referencial teórico

Segundo (BARRETO, 2002), as RNA's consistem em um modo de abordar a solução de problemas de maneira tal que o computador possa imitar um comportamento inteligente, no intuito de se aproximar do que seria o sistema nervoso humano. Como princípio básico, a RNA procura construir uma arquitetura cuja forma é análoga ao modelo de circuitos cerebrais, sendo que os dados de entrada são multiplicados por pesos quando passam de um neurônio para o outro. RNA's são modelos generalistas capazes de aprender novas tarefas. Da mesma forma, esses circuitos neurais artificiais podem se auto-organizar quando apresentados a ambientes diversos, criando representações internas baseadas em modelos externos.

Uma RNA de uma camada tem a limitação de resolver apenas problemas lineares. As não-linearidades são incorporadas em modelos neurais por intermédio de funções de ativação não-lineares para cada neurônio da rede, e por uma composição estrutural em camadas sucessivas (BRAGA, 2011). Às RNAs de múltiplas camadas, compostas por neurônios com funções de ativação sigmoideal nas camadas intermediárias, denominamos *Multilayer Perceptron (MLP's)*.

De acordo com (SHEPHERD, 2012), a arquitetura de uma Rede Neural do tipo MLP consiste em nós organizados em duas ou mais camadas internas, sendo que estes nós estão conectados por valores de pesos entre elas. Segundo (BRAGA, 2011), o treinamento de uma rede MLP é feito com exemplos (amostras de calibração dos pesos sinápticos) em que se é utilizado um algoritmo de retropropagação do erro (*backpropagation*) durante o processo de treinamento.

5 Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a IDE RStudio *Desktop* na versão 1.0.136 integrada a linguagem de programa-

ção R (TEAM, 2016). Foi utilizada também a biblioteca *RSNNS (R Stuttgart Neural Network Simulator)* (BERGMEIR, 2012), que dispõe diversos tipos de topologias e algoritmos de aprendizagem em RNA's.

O *dataset* empregado no desenvolvimento do estudo continha dados sobre a situação dos principais mananciais do estado de São Paulo sendo Cantareira, Alto Tietê, Guarapiranga, Cotia, Rio Grande e Rio Claro. Para cada um deles foi possível averiguar a data das medições do volume armazenado, a pluviometria do dia e a acumulada no mês, além da média histórica do mês. Os arquivos de dados foram extraídos diretamente do portal SABESP (SABESP, 2003) que mantém todas essas informações em domínio público.

Na Figura 1 é ilustrado o gráfico dos seis mananciais, sendo considerada a data da medição e a pluviometria acumulada de cada mês no decorrer de 365 observações realizadas em cada um dos dias do ano de 2015.

Com o gráfico é possível observar, já visualmente, a existência de uma relação entre a pluviometria acumulada de cada mês entre os seis mananciais. Destaca-se que nos meses de maio e junho houve maior dispersão no sistema do Rio Claro em comparação com os demais. Tais relações foram também constatadas com a geração de um correlograma que foi montado a partir de avaliações feitas com teste de Pearson, que para (LIMA et al., 2017), é capaz de avaliar o grau em que dois fenômenos quantificáveis distintos estão associados linearmente entre si. O mesmo é mostrado na Figura 2. Neste gráfico, um círculo preenchido totalmente de azul indica correlação total (no caso, 1), um círculo preenchido completamente de vermelho indica correlação inversa (no caso, -1). Todos os sistemas apresentaram altas taxas de correlação direta.

Na Figura 3, a fim de se analisar a dispersão dos dados, é mostrado o diagrama de caixa (*boxplot*) dos seis mananciais no mesmo ano de 2015.

É possível constatar, através do diagrama de caixa representado, a presença de alguns *outliers* - valores atípicos que apresentam

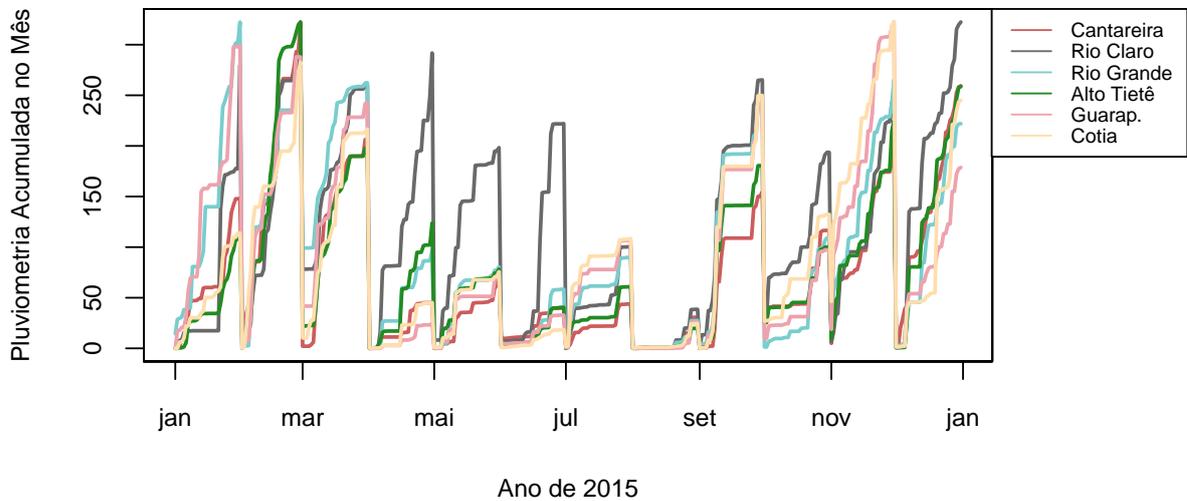


Figura 1: Gráfico dos mananciais.

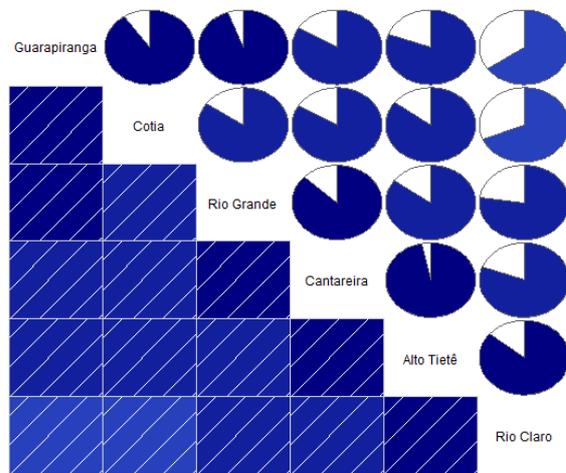


Figura 2: Correlograma dos mananciais.

um grande afastamento dos demais dados da amostra - no sistema do Alto Tietê e no sistema da Cantareira. Uma preocupação durante a fase de metodologia foi tratar este tipo de observação visto que, na fase de treinamento de uma RNA, por exemplo, os mesmos poderiam comprometer a capacidade de generalização do modelo.

Para tratamento de *outliers* foi aplicado um método para ajuste onde buscou-se eliminar

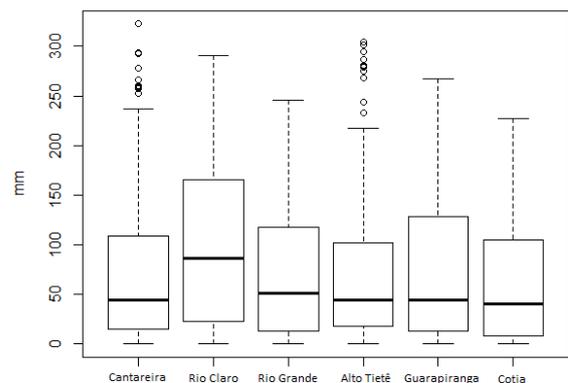


Figura 3: Diagrama de caixa dos mananciais.

valores presentes no primeiro e quarto quartil da distribuição de dados, mantendo-se assim, apenas as medidas que estavam entre os pontos que denotavam 1/4 e 3/4 da amostra total.

Nas Figuras 4 e 5 podem ser vistos dois diagramas de caixa do sistema Alto Tietê e do sistema Cantareira, respectivamente, sendo que no primeiro não há tratamento de *outliers* enquanto que no segundo, sim.

Após a análise e tratamento de dados, procedeu-se às atividades de treinamento da

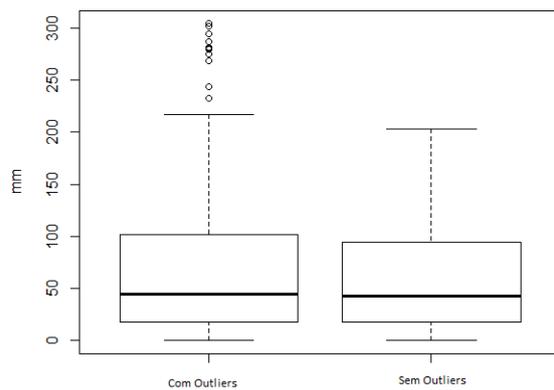


Figura 4: Diagrama de caixa do sistema do Alto Tietê, com e sem *outliers*.

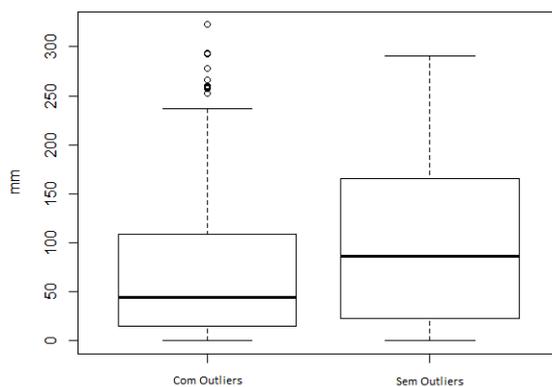


Figura 5: Diagrama de caixa do sistema da Cantareira, com e sem *outliers*.

RNA MLP utilizando os dados da pluviometria, acumulada mês a mês, durante todo o ano de 2015, nos sistemas mananciais Alto Tietê, Guarapiranga, Cotia, Rio Grande e Rio Claro. Os dados de entrada destes cinco sistemas foram vinculados a saída esperada da RNA como sendo a pluviometria acumulada no mês no Sistema Cantareira. Em outras palavras, treinou-se a RNA para prever a pluviometria em um sistema utilizando-se dados de outros. Essa decisão se deu principalmente pois, dado que os sistemas coexistem em uma mesma região, espera-se que as condições de clima, relevo e outras características de am-

biente compartilhadas, gerem influência semelhante em todos.

Para o treinamento fez-se necessária a definição de algumas constantes comuns aos sistemas de aprendizado supervisionado como as RNA's, por exemplo, o máximo de épocas, a taxa de aprendizagem e o número de neurônios nas camadas. Quanto ao primeiro, estabeleceu-se um valor para que o algoritmo pudesse parar suas iterações quando demonstrasse convergência. No segundo, definiu-se um valor que promovesse uma queda suave e constante do erro ao longo das épocas. E, por último, em relação à quantidade de neurônios da camada escondida, buscou-se avaliar um número que garantisse a complexidade necessária do modelo levando-se em conta o tipo de problema.

Após diversos experimentos empíricos, com uso de validação cruzada, foram atribuídos ao máximo de épocas o valor de 50000, 0.005 para a taxa de aprendizagem e 20 como quantidade de neurônios da camada escondida. A Figura 6 é uma representação da arquitetura da RNA gerada.

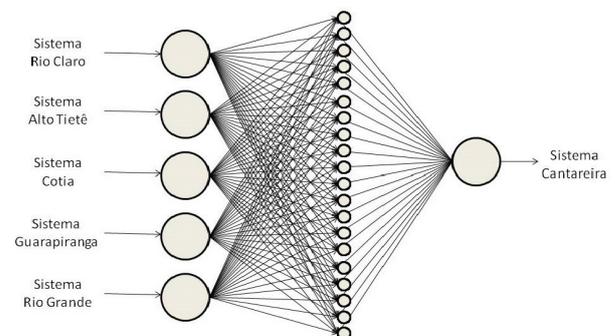


Figura 6: Arquitetura da RNA.

A Figura 6 ilustra o gráfico de evolução decrescente do erro da RNA MLP, época após época, na fase de treinamento.

Com o modelo treinado, o próximo passo foi estimar a pluviometria futura acumulada por mês. Para tanto, com treinamento feito em 2015, utilizou-se como período para aplicação do método, todo o ano de 2016 e os cinco primeiros meses de 2017. É importante ressaltar que a rede em questão foi treinada em um ano

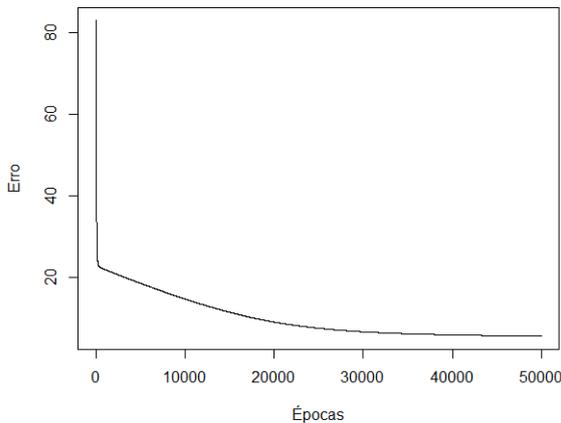


Figura 7: Erro da MLP.

(2015) e, após isso, utilizada para previsão em período completamente desconhecido (1-2016 a 5-2017). A RNA, como aplicada, permitiu entrar com as medições de cinco sistemas diferentes do Cantareira e, a partir disso, obter a estimativa no Cantareira.

Os resultados obtidos com a aplicação da mesma são discutidos na próxima seção deste trabalho.

6 Resultados e Discussões

A Figura 8 ilustra o gráfico comparativo entre os valores estimados pela RNA e os valores reais da pluviometria acumulada do mês no decorrer dos 365 dias do ano de 2016. Percebe-se, com este gráfico, uma considerável proximidade entre os valores estimados e os valores reais.

A Figura 9 ilustra o gráfico comparativo entre os valores estimados pela RNA e os valores reais da pluviometria acumulada do mês, no decorrer dos cinco primeiros meses do ano de 2017. Como em 2016, nota-se, mais uma vez, uma proximidade entre os valores estimados e os valores reais. No entanto, neste caso, percebe-se que, em relação a 2016, a RNA já começa a dar evidências de perda de precisão gerando valores em magnitudes superiores ao esperado. Este fato pode sugerir que um retreinamento, feito em 2016, para previsão

em 2017, poderia ser benéfico. Outro apontamento importante a se fazer é que as informações retrospectivas, neste caso, se mostraram insuficientes para obtenção de precisão, portanto, modelos compostos de mais variáveis climáticas devem ser considerados futuramente para melhoria deste experimento.

Com o intuito de verificar a taxa de acerto da rede, foi calculado o erro quadrático médio (EQM) das previsões da rede contra os valores reais. O valor encontrado foi de 16.06 mm^2 na previsão no ano de 2016 e de 22.66 mm^2 em 2017. A tabela 1 sumariza essas informações.

Outra medida utilizada para comprovar a eficiência da RNA, foi a correlação entre os valores reais e estimados que, via teste de Pearson, indicou taxas de 0.96 e 0.94 para as previsões de 2016 e 2017 respectivamente. Valores de correlação que podem ser considerados altos.

Para avaliação da direção dos movimentos utilizou-se a métrica *Percentage of Change in Direction* (POCID) como aplicada por (PAIVA, 2014). O POCID é frequentemente utilizado em preditores de mercado acionário para evidenciar momentos em que as previsões feitas seguem o mesmo sentido (alta ou baixa) que as séries reais. Os resultados no caso deste estudo mostraram a capacidade da RNA em gerar movimentos que seguem a mesma direção que as feitas pela série real. Em 2016 obteve-se um valor de 54% e em 2017 um valor de 65%.

Tabela 1: Resultados da aplicação da RNA para previsão em 2016 e 2017.

	2016	2017
EQM	16 mm^2	22.66 mm^2
Correlação	96%	94%
POCID	54%	65%

7 Considerações Finais

Neste artigo foi apresentada uma estratégia para estimação da pluviometria acumulada mensalmente do sistema Cantareira, por meio do treinamento de uma RNA MLP nos dados

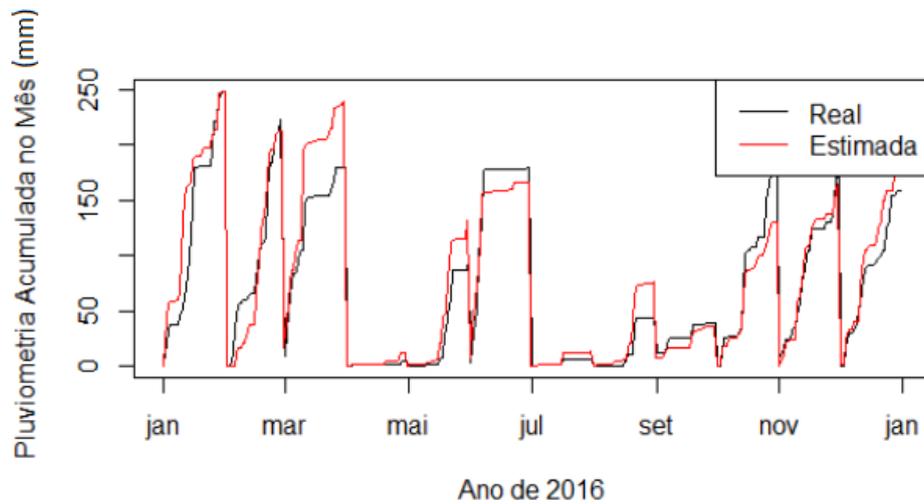


Figura 8: Pluviometria acumulada ao mês durante o ano de 2016.

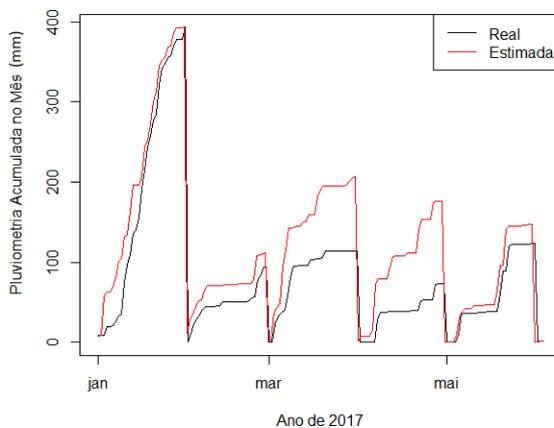


Figura 9: Pluviometria acumulada ao mês durante os primeiros meses do ano de 2017.

de outros cinco sistemas com medições já realizadas no estado de São Paulo: Alto Tietê, Guarapiranga, Cotia, Rio Grande e Rio Claro.

A justificativa principal do estudo é possibilitar a redução de custos no monitoramento de bacias, não sendo necessário adquirir pluviômetros, e facilitar o trabalho dos técnicos em meteorologia na realização das medições da pluviometria do sistema Cantareira, uma van-

tagem direta da abordagem é que técnicos não precisam se locomover até onde estão instalados os pluviômetros. Pode-se concluir que a RNA, como aplicada, mostrou-se um método válido e a ser considerado, especialmente se os erros obtidos forem considerados toleráveis por ambientalistas e instituições responsáveis por água e saneamento.

Os resultados mostraram boa correlação entre os dados estimados e os dados reais da pluviometria acumulada por mês do sistema Cantareira levando-se em conta o sistema de previsão como proposto. Portanto, é viável o emprego da técnica para estimar dados futuros, posto essa como alternativa a ser considerada frente às medições pluviométricas convencionais.

É possível concluir também a eficiência da utilização de Redes Neurais Artificiais do tipo *Perceptron Multi-camadas* neste contexto de aplicação, garantindo a este tipo de técnica mais uma evidência de sua aplicabilidade que, conforme pode-se ver na literatura atual, já é bem ampla e adotada.

Por fim, a que se considerar que, pela especificidade da pesquisa, especialmente no que trata-se da regionalidade geográfica da aplicação, não foram encontrados na literatura ou-

tros estudos que se propuseram a desenvolver até então sistemas semelhantes. No que, para trabalhos científicos, faz-se esperar comparativos, sugere-se ao leitor tomar como base os artigos expostos na seção de trabalhos relacionados.

Agradecimentos

Os autores do trabalho agradecem ao IFMG-Campus Bambuí pelo espaço cedido e auxílio para o desenvolvimento do projeto, além da SABESP, companhia que disponibilizou o *dataset* utilizado na construção deste trabalho.

Referências

AMORIM, W. C. Interpolação espacial de dados médios mensais pluviométricos com redes neurais artificiais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. 3, p. 389–396, 2014.

BARRETO, J. M. Introdução às redes neurais artificiais. 2002.

BERGMEIR, C. N. Neural networks in r using the stuttgart neural network simulator: Rsnns. In: AMERICAN STATISTICAL ASSOCIATION. [S.l.], 2012.

BRAGA, A. d. P. *Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações*. [S.l.: s.n.], 2011.

CEMADEN. *Pluviômetros*. 2013. <<http://www.cemaden.gov.br/o-que-sao-pluviometros>>. Julho.

CPRM. *Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Relatório Anual de 2015*. 2016.

DANTAS, D. Uso de redes neurais artificiais na previsão da precipitação de períodos chuvosos. *Revista Espinhaço, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri*, p. 11–18, 2017.

FERREIRA, J. C. et al. Previsão de vazão da bacia do ribeiro João Leite utilizando redes neurais artificiais. *Irriga*, v. 16, n. 3, p. 339, 2011.

KAWASE, K.; COUTINHO, E.; SILVA, R. d. Aplicação de modelo computacional de redes neurais na previsão de dados pluviométricos no município de Paty Alferes-RJ. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, v. 3, n. 1, 2015.

LIMA, L. et al. A distância como variável em modelos configuracionais no estudo da distribuição de atividades econômicas urbanas. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, v. 9, n. 2, p. 354–370, 2017.

LIMA, W. d. P. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. 2008.

PAIVA, F. D. *Redes Neurais para Decisões no Mercado de Ações Brasileiro*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil, 2014.

SABESP. *Dados dos mananciais da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo*. 2003. <<http://www.sabesp.com.br>>. Julho.

SHEPHERD, A. *Second-order methods for neural networks: Fast and reliable training methods for multi-layer perceptrons*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.

SOUSA, F.; SOUSA, W. d. S. Rede neural aplicada ao processo chuva-vazão da bacia hidrográfica de Caraúbas. 2006.

TEAM, R. C. R. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2014. 2016.

WHATELY, M.; PILAR, C. e. Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da região metropolitana de São Paulo. Instituto Socioambiental, 2007.