

PREVISÃO DE NÍVEL DE RESERVATÓRIOS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE GOIÂNIA

Alberto Adriano Sjobom Júnior¹; Marco Antônio Assfalk de Oliveira¹

Resumo – A necessidade se otimizar de operação de sistema de abastecimento de água tem levado ao desenvolvimento de várias soluções para o problema, o que se procurou foi uma alternativa que simplificasse a sua aplicação nas empresas de saneamento. Restringiu-se o modelo às variáveis hidráulicas com maior facilidade de obtenção, possibilitando ser utilizado mesmo em sistemas de menor porte ou recursos. Assim trabalhou-se um modelo para previsão de níveis de reservatórios utilizando redes neurais “MLP feedforward” com treinamento por retropropagação para captarem a dinâmica de funcionamento do SAA a partir dos históricos operacionais e climatológicos. Servindo de base tanto como uma ferramenta isolada para os operadores como para desenvolvimento de um sistema especialista que otimize a operação dos bombeamentos e válvulas.

Abstract - The necessity of optimizing the operation of water supply systems has conducted to many solutions for the problem, so that an alternative to simplify its application in sanitation companies was searched. The model was restrict to hydraulic variables easier to be obtained, enabling to be utilized even on smaller and cheaper systems. A model with prevision of levels of tanks using neural net MLP feedforward with backward propagation practicing was worked so they can captivate the dynamics of the water supply systems from historic and climatic data. It is worth as like an isolate tool as for the operators to develop a specialist system that optimize the operation of pumps and valves.

Palavras-chave: abastecimento de água, reservatórios, redes neurais.

¹Universidade Federal de Goiás – Escola de Engenharia Elétrica e Computação – Praça Universitária, s/n, Setor Universitário - Goiânia - GO CEP: 74605-220 Fone: 62-521-1806 E-mail: sjobom@saneago.com.br; assfalk@eee.ufg.br

INTRODUÇÃO

A operação dos sistemas de abastecimento público de água apresenta um grande desafio, ou seja, como controlar, planejar e otimizar uma rede que pode alcançar milhares de quilômetros, com milhares de conexões, dezenas de reservatórios e estações de bombeamento. E ainda esta rede está praticamente toda enterrada e espelhada pela cidade.

O primeiro desafio é medir o estado da rede a cada momento. Isto há muitos anos tem avançado com a telemetria que alcança cada vez mais profundamente o sistema. Mas o domínio completo das várias condições hidráulicas através somente da telemedicação não é alcançável por dois motivos: é extremamente oneroso medir todos os pontos da rede e mesmo que se conheça as decisões serão ainda tomadas com base na heurística dos operadores do sistema. O problema é de difícil solução, e para algumas Cidades restringir otimização do controle dos reservatórios e do bombeamento já representa um significativo ganho. E é neste enfoque que estaremos buscando algumas alternativas.

OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Operar um sistema de distribuição de água requer uma variedade de decisões a serem feitas. Há planejamento do sistema: onde, quando e quais os novos elementos de distribuição do sistema precisam ser construídos. Há o gerenciamento do sistema concernente medidas regulatórias, medidas legislativas, etc.. Há decisões operacionais determinando a programação de bombas, operação de reservatórios e controle de pressão. Os horizontes de decisão variam de 1-10 anos, 1-12 meses e 1min a 24h, respectivamente. O controle operacional, nosso enfoque, além das atividades citadas também atua na operação de válvulas para resolver desequilíbrios, defeitos e escassez no sistema. Com exceção dos defeitos que podem ser considerados aleatórios, os outros dois eventos fazem parte do cotidiano, exigindo decisões a cada momento.

Com a possibilidade de telemetria das variáveis hidráulicas o controle operacional ganhou maior confiabilidade, pois as medidas são on-line e as decisões centralizadas.

Os operadores usam regras heurísticas para minimizar custo de energia, para prever a demanda e manter reservatórios dentro de níveis razoáveis. A heurística é baseada em fatores econômicos, ambientais e sociológicos. Uma vez que o sistema é controlado por vários operadores, é difícil padronizar e otimizar as operações do sistema. Pode-se através da documentação da heurística dos operadores mais experientes construir um sistema especialista. Análises destas indicam que a previsão de curto-prazo da demanda de água é importante para minimizar custos de bombeamento. Mas a previsão de demanda de água é pouco entendida mesmo por especialistas, que fazem a previsão baseada em suas experiências.

Em termos gerais, o objetivo do controle operacional é com menor custo suprir com água em quantidade e qualidade a todos os usuários, indiferentemente das variações hidrológicas e de consumo.

Quase toda decisão operacional é focada na incerteza e devemos ter estimativa dos fatores de risco.

MACRO-DISTRIBUIÇÃO

Um sistema de abastecimento de água é composto por milhares de componentes e sua modelagem é complexa. Uma abordagem é o modelo construído aplicando as regras de continuidade da água na rede: balanço de massas e conservação de energia. Que é descrito pela equação com dependência não linear: $g_{i(x)} = \sum_{j \in w_i} (f_{ij(x)} - R_{ij}(x_i - x_j)^{0.54})$, onde: g balanço de massa nó i , w_i conjunto de nós adjacentes do nó i , R_{ij} resistência hidráulica para tubo i - j , x pressão no nó. A não linearidade das equações necessita de método iterativo como Newton-Raphson. Todavia a maior falha é a inabilidade computacional com o crescimento físico da rede.

O incremento da complexidade dos sistemas de distribuição de água juntamente com o requerimento de intervalo de discretização menores significam que a tarefa de simulação de redes de distribuição de água supera o poder computacional de sistemas computados simples viáveis economicamente\cite{Parallel-Simulation}.

Às vezes chamado de macro-distribuição é composta basicamente por estações de bombeamento, adutoras, reservatórios e válvulas. Nesta parte do sistema temos as operações mais freqüentes. É aqui que geralmente temos mais informações, os sistemas de telemetria são inicialmente implantados para monitorar os elementos macros, o custo de medição são menores pois são uma quantidade bem inferior de elementos a serem instalados. Mesmo onde a telemetria é incipiente ou inexistente é possível existirem anotações de níveis, relatórios de bombeamento, etc. E também nestas unidades onde estão concentrados os consumos de energia elétrica.

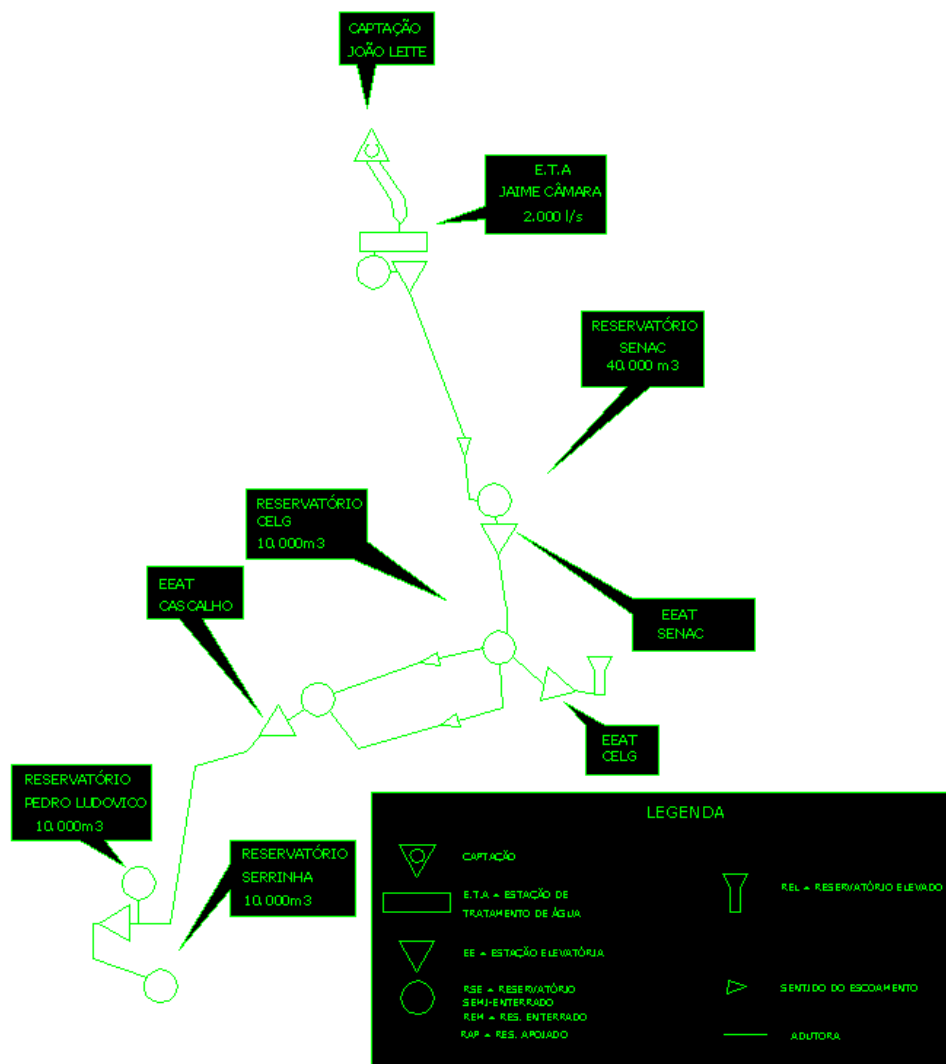


Figura 1: Parte do SAA João Leite

Em qualquer tarefa de modelagem, freqüentemente dois fatores prevalecem: simplicidade e acurácia. De um lado um modelo de sistema é sobre-simplificado conclusões incorretas podem ser tiradas, presumivelmente para eficiência computacional. Por outro lado um modelo altamente detalhado pode levar para muitas complicações desnecessárias, resultando em detalhes muito vastos em que investigações adicionais do sistema vêm a ser impossível com questionáveis valores práticos. Dentro desta visão, a previsão somente dos níveis dos reservatórios para um controle otimizado de nível, bombeamento e válvulas representa uma simplificação do sistema mas possibilita um avanço para operação de muitas localidades. A figura 1 mostra o subsistema adotado. O bombeamento juntamente com as válvulas são a forma principal de controle sobre o sistema e a programação de seu funcionamento pode-se dizer a principal tarefa da operação diária.

MODELAGEM DA MACRO-DISTRIBUIÇÃO

Uma alternativa para modelagem é a Identificação de Sistemas, o processo de construção de modelo e estimativa dos melhores valores de parâmetros desconhecidos de dados experimentais.

O tratamento da macro-distribuição com a abordagem de Identificação de Sistemas traz uma vantagem de não necessitarmos de informações muito detalhada tais como: diâmetro e rugosidade de adutoras, etc., que por vezes não são precisas e fazem de uma modelagem física perfeita e difícil, incorreta nos resultados. Ao utilizarmos os dados de comportamento estão incorporadas neste todas as características do sistema.

Se uma rede é muito complexa é consenso geral que para combater tal problema o sistema deve ser dividido em subsistemas, introduzindo a noção de simuladores distribuídos. As subredes são atualizadas para compensar a perda de fluxo nas ligações cortadas. Cada subrede atualizada é resolvida independentemente e na sequência coordenada com o seu vizinho.

Tomando este modelo e fazendo uma adaptação do esquema de divisão citado, subdividiremos a rede em subredes que contam com o reservatório a ser previsto o nível e os outros elementos (reservatórios, bombas e válvulas) que tem influência sobre o mesmo, e assim quando estiver resolvida esta subrede passa-se a próxima, quando todo o sistema estiver sido percorrido atualiza-se o nível de todos os reservatórios. A figura 2 esquematiza isto.

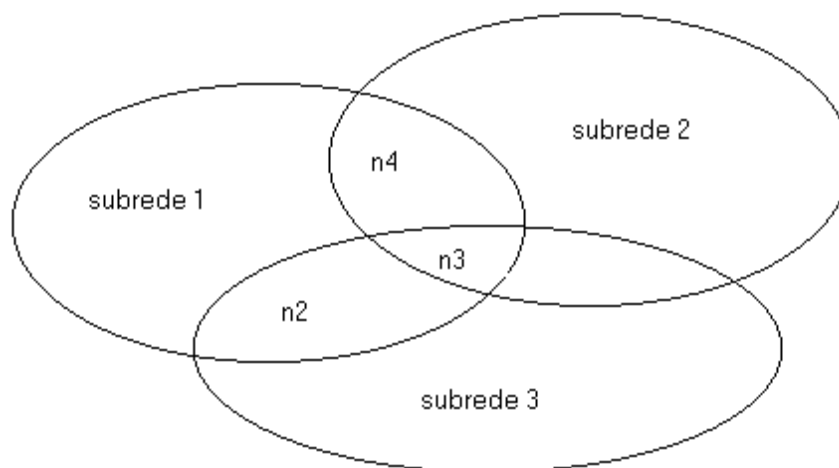


Figura 2: Subredes do sistema

Como critério para separação de subredes pode ser vários: maior correlação entre os componentes, vizinhança, e outros. Para citar o exemplo do sistema abastecimento de água de Goiânia, selecionamos as unidades mais importantes, ver tabela 1, vemos que a correlação linear entre as apresentam-se frequentemente baixa, mas é possível mesmo assim eleger as mais correlatas, indicando que as mesmas interferem mais no estado uma da outra.

Tabela 1: Correlação Linear Unidades do SAA

	Elev. JL	Reserv. Senac	Elev. Senac	Reserv. Celg	Elev. Cascalho	Reserv. PL	Elev. PL	Reserv. Serrinha
Elev. JL	1,00	-0,22	0,29	-0,12	0,32	-0,12	0,14	-0,16
R. Senac	-0,22	1,00	-0,36	0,06	-0,28	0,46	-0,25	0,08
E. Senac	0,29	-0,36	1,00	-0,07	0,34	-0,06	0,40	0,08
R. Celg	-0,12	0,06	-0,07	1,00	-0,02	0,24	0,14	0,64
E. Casc.	0,32	-0,28	0,34	-0,02	1,00	-0,21	0,36	-0,06
R. PL	-0,12	0,46	-0,06	0,24	-0,21	1,00	-0,21	0,39
E. PL	0,14	-0,25	0,40	0,14	0,36	-0,21	1,00	0,14
R. Ser.	-0,16	0,08	0,08	0,64	-0,06	0,39	0,14	1,00

VARIÁVEIS DO SISTEMA

O consumo de água é afetado por vários fatores físicos, climáticos, sociais, políticos, etc.. Poder ser decompostos nos seguintes componentes:

Tendência de longo prazo: crescimento populacional, macroeconomia, etc.

Componente sazonal: verão, inverno, etc.

Componente aleatória: chuva, etc.

Quatorze fatores foram identificados como podendo influenciar o consumo diário de água de uma cidade, conforme tabela 2:

Tabela 2: Fatores de influência

Item	Variáveis
1	Dia da Semana
2	Temperatura mínima
3	Temperatura máxima
4	Temperatura média
5	Unidade máxima
6	Unidade mínima
7	Temporal
8	Chuva
9	Neve
10	Precipitação total
11	Velocidade média do vento
12	Direção do vento
13	Máxima velocidade do vento
14	Horas de sol

Em sistema de informação muitas vezes alguns atributos não provem nenhuma informação adicional. Assim pode-se reduzir os o conjunto de atributos.

Um modelo de decisão citado por Bargiela: decisão é u , o presente estado x_0 , a influência externa, e o resultado y , então:

$$y = F(x_0, u, z)$$

Ficaria para nosso modelo:

x_0 = nível dos reservatórios influentes

u = bombas e válvulas influentes

y = previsão da variação nível do reservatório

z = meteorologia, dia da semana, feriado, mes

FERRAMENTAS DE MODELAGEM

Ferramentas de IA(inteligência artificial) vem sendo introduzidas para modelagem de sistema de larga escala, como sistema especialista, lógica nebulosa e redes neurais. Um sistema especialista é construído para ser aplicado num domínio específico do conhecimento para resolver problemas similares. Redes neurais representam o cérebro humano com ênfase no aprendizado. Lógica nebulosa trata com incerteza, imprecisão e uma abordagem lingüística para o raciocínio humano.

Também há Algoritmos Genéticos: basicamente usada para problemas envolvendo espaços complexos, uma idéia similar ao princípio evolucionário de Darwin e baseado na reprodução e sobrevivência das espécies. E outras ferramentas utilizadas em "soft computing": programação genética, computação probabilísticas e várias técnicas híbridas.

Muitas técnicas têm obtido resultados nos modelos de previsão: demanda de energia elétrica, demanda de água, previsão de enchentes, previsão de fator de potência, que demonstra a adequação para o problema proposto.

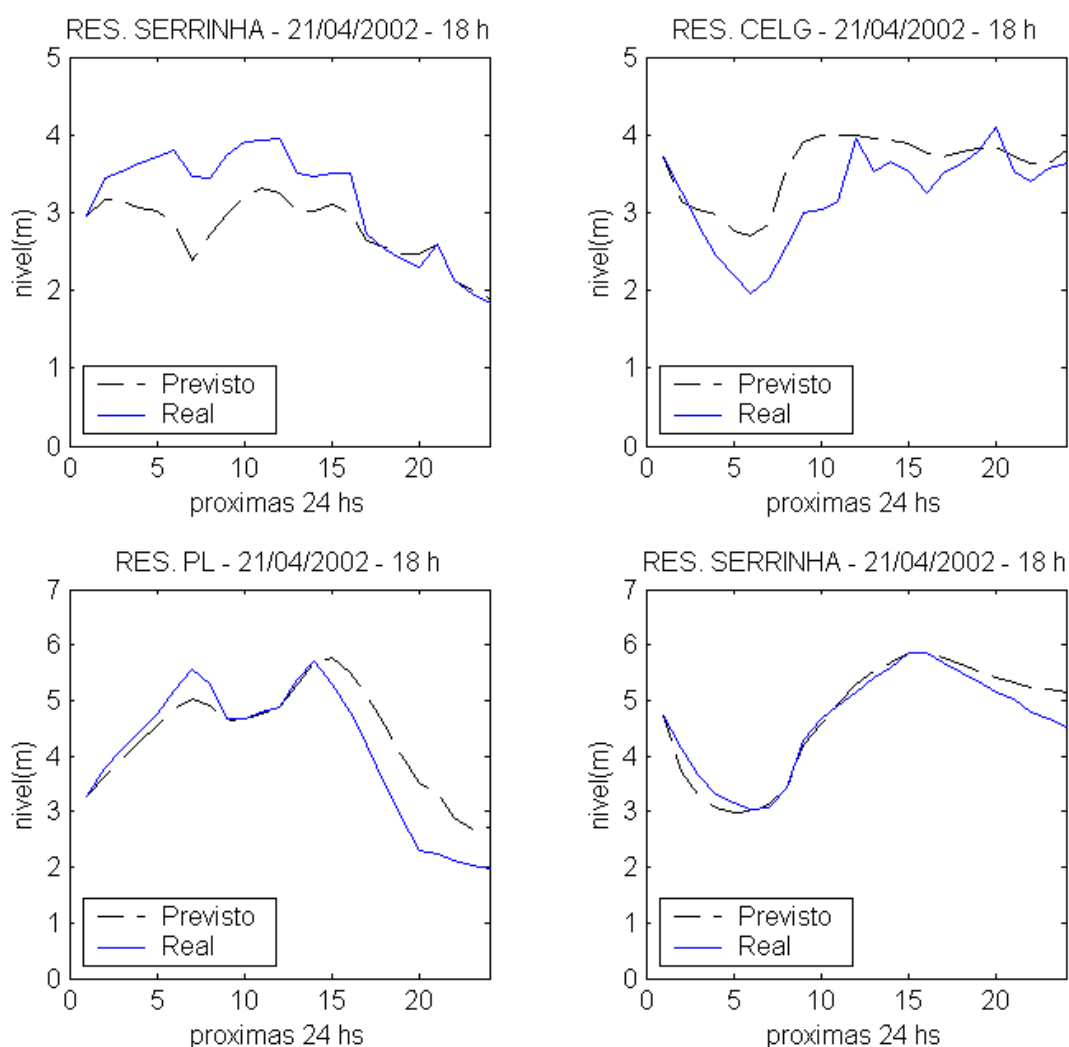


Figura 3: Previsão próximas 24 h

RESULTADOS

Aplicamos o modelo proposto aos quatro maiores reservatórios Sistema de Macro-distribuição João Leite que faz parte do Sistema de Abastecimento de Água de Goiânia, no período de janeiro a abril de 2002. Utilizamos redes neurais MLP(perceptrons de múltiplas camadas). Seleccionamos os dados de 1 janeiro a 15 de abril de 2002 para treinamento da rede e 16 a 31 de abril para teste do modelo. As figs. 3 e 4 apresentam algumas previsões obtidas.

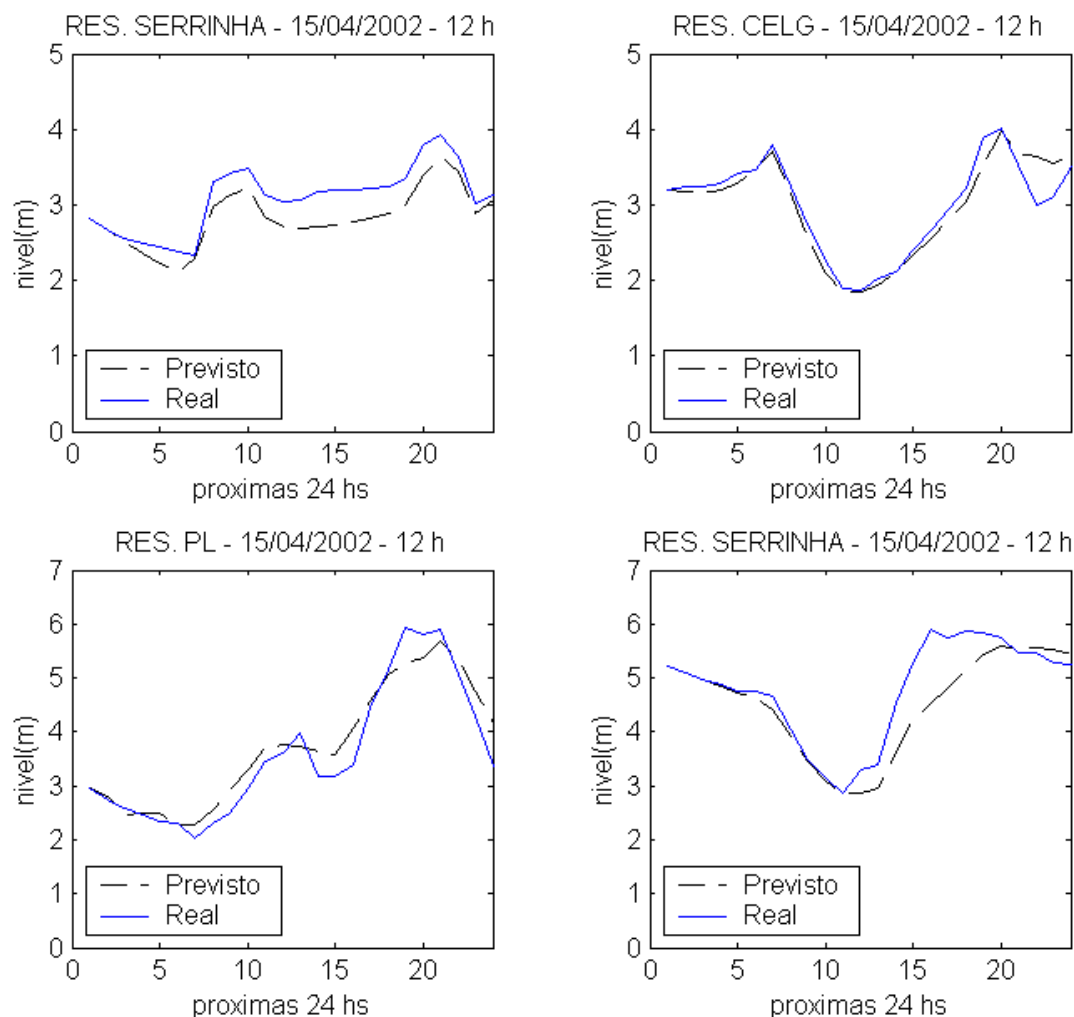


Figura 4: Previsão próximas 24 h

Os erros de previsão das próximas 24 horas da segunda quinzena de abril são apresentados na tabela 3. Também nesta tabela são apresentados os níveis de segurança destes reservatórios.

Tabela 3: Erros de previsão

Unidade	Rmse	Maior erro acima	Maior erro abaixo	Nível mínimo	Nível máximo
Senac	0,46	0,72	-1,73	1,00	4,00
Celg	0,59	1,53	-2,03	1,00	4,00
PL	1,06	2,82	1,60	1,50	5,85
Serrinha	0,74	2,26	-1,33	1,00	5,85

CONCLUSÃO

A previsão de nível dos reservatórios do sistema de abastecimento público é um passo que ajuda significativamente no controle operacional. Ajuda melhorar a confiabilidade, a segurança e permitir reduzir custos. Ainda que os erros obtidos mostrem-se altos em alguns casos - o que operacionalmente é um risco inaceitável - a média dos erros apresenta um valor razoável se considerarmos as dimensões dos reservatórios envolvidos, ou seja, poder-se-ia trabalhar com ela dentro de um nível de risco aceitável.

REFERÊNCIAS

- AN, A.; SHAN, N.; CHAN, C.; CERCONI, N.; ZIARKO, W. 1995. Discovering Rules from Data for Water Demand Prediction, IJCAI'95, Montreal, Canada.
- HOSSEINZAMAN, A.; BARGIELA, A. 1994. ADAs Virtual Node based Water System Simulator, ADA User Journal, July, Vol. 15, n. 2, pag. 86-94.
- BARGIELA, A.. 1993. Managing Uncertainty in Operational Control of Water Distribution Systems. Integrated Computer Applications, Vol 2, (Ed.) B Coulbeck, J Wiley, pp 353-363.
- HARTLEY, J.; BARGIELA, A.; CANT, R. 1995. Parallel Simulation of Large-Scale Water Distribution System. Proceedings of Modelling and Simulation Conference ESM'95, Prague, pp. 723-727.
- JAMSHIDI, M. 1997. Large-Scale Systems: Modeling, Control, and Fuzzy Logic, Printice Hall. 578 p.
- HARTLEY, J.; BARGIELA, A. 1996. Probabilistic Simulation of Large-Scale Water Distribution Systems. Proceedings of European Simulation Symposium ESS'96, Genoa. Vol.2 , pp.403-407.
- RUMANTIR, G.; HULME, M. 2003. A Hybrid Backpropagation Network - Statistical Model for Water Demand Time-series Forecasting. www.citeseer.ist.psu.edu/316855.html, acessado em janeiro/2003.
- CASTILLO, L.; GONZÁLES, A. 1996. Fuzzy Optimization of Distribution Networks by using Genetic Algorithms. Genetic Algorithms and Soft Computing, (F. Herrera, J.L. Verdegay eds.) PhysicaVerlag, Studies in Fuzzyness, vol. 8, pp. 641-657.
- BHATTACHARYA, M.; ABRAHAM, A.; BAIKUNTH, N. 2001. A Linear Genetic Programming Approach for Modelling Electricity Demand Prediction in Victoria. Applied Soft Computing Journal, Elsevier Science, Volume 1 /2, pp. 127-138.
- NGUYEN, T. 2004. AI Techniques for Prediction of Short Data Series with Unreliable Data Quality. <http://www.cig.enscm.fr/~iahs/PUBs/Brasilia-Papers/Nguyen.pdf>, acessado em setembro/2004.
- ABRAHAM, A.; NATH, B. 2001. Neuro-Fuzzy System for Intelligent Reactive Power Factor. Applied Soft Computing Journal, Elsevier Science, Volume 1 /2, pp. 127-138.
- LEON, C.; MARTÍN, S.; LUQUE, J.; VÁSQUEZ, M. 2000. Explore: Expert System for Water Network Management. ASCE, Journal of Water Resources Planning and Management. March/April 2000, pp. 65-74.