



# Revista AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica

Volúmen 1, número 3, año 2007 ISSN 0718-378X  
PP

## INTEGRAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA DE ÁGUA A UM MODELO SIMULADOR EM TEMPO REAL NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

INTEGRATING A PREDICTIVE WATER CONSUMPTION MODEL TO A REAL TIME  
MODEL FOR THE OPERATION OF DRINKING WATER SYSTEMS

Viviana Marli Nogueira de Aquino Borges  
Kamel Zahed Filho

### ABSTRACT

Integration between hydraulics simulation and water demand forecast models for planning real time operation, with 24 hours of antecedence, of the metropolitan water mains system of São Paulo is described. Operational programming for short term (real time) is also useful for special events (longer periods).

Daily programming of operation is implanted by a SCADA system, that is responsible for telemetric startup of pumps and changes in position of control valves, to control flows that supply distribution tanks.

This integration created a decision support system, composed by: mathematical models, computational systems, data bases and a friendly interface.

Methodology consists of construction and integration among several models to create a dynamic solution to each specific operational condition.

Proposed methodology may be applied to any system with installed field automation for real time control. The success of this methodology is demonstrated by an application to a great and complex water main system.

Improvements of the real time operation conditions results in several advantages: increase the security, reduction of energy costs, better efficiency of hydraulic a mechanical components, reduction in control valves maneuvers, more stable water treatment conditions.

The proposed model of operation does not try to reach optimal solutions, but results in excellent and practical operations rules. However it is recommended and it is being prepared for introduction of a real time optimization model as the next step.

Key words: predictive model, simulation model, water consumption, water supply, real time operation

## II-Borges-Brasil-2

### INTEGRAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA DE ÁGUA A UM MODELO SIMULADOR EM TEMPO REAL PARA A OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Aplicar

Foto

#### **Viviana Marli Nogueira de Aquino Borges** <sup>(1)</sup>

Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica, da USP. Especialização em Engenharia de Saneamento Básico pela Faculdade de Saúde Pública, da USP. Engenheira da Divisão de Operação da Adução da Produção, da SABESP.

#### **Kamel Zahed Filho**

Doutor em Engenharia pela Escola Politécnica, da USP. Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP e Engenheiro da Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção, da SABESP.

**Endereço (1):** Rua Cincinato Braga, 481 – ap.53 – Bela Vista – São Paulo – SP – CEP 01333-011 – Brasil – Tel: (+5511) 3388-8735 – Fax: (+5511) 3388-8763, e-mail: [vmborges@sabesp.com.br](mailto:vmborges@sabesp.com.br)

#### **RESUMO**

Descreve-se uma integração entre modelos simuladores hidráulicos e de previsão de demanda de água para uma programação de operação do sistema adutor metropolitano de São Paulo. Com 24 horas de antecedência para operação de curto prazo (tempo real) ou para eventos especiais de operações atípicas (prazos maiores). As programações diárias de operação são implantadas por um sistema SCADA, que atua em partidas de bombas e na definição das vazões aduzidas aos reservatórios setoriais, pelo comando das válvulas de controle. Essa integração criou um sistema de suporte a decisão, que é apresentado através de um detalhamento sobre os modelos, sistemas e dinâmica de integrações. A metodologia proposta é aplicável em qualquer sistema adutor que contenha automação no campo para o funcionamento em tempo real, com a demonstração de sucesso em um sistema de grande porte e complexidade. Como produto final da operação subsidiada por um sistema de apoio a decisão obtém-se uma melhoria na segurança da operação do sistema de abastecimento em tempo real e na melhoria da performance operacional: com ganho no gastos com energia elétrica, no aumento da vida útil das instalações, com a redução do número de manobras, na melhoria do tratamento de água, com menores oscilações de retirada de água tratada e no estabelecimento de um padrão de qualidade no atendimento a distribuição de água. O modelo de operação proposto não procura encontrar uma regra operacional ótima, porém recomenda e se prepara para a introdução de um modelo de otimização para operação em tempo real, como uma etapa futura.

#### **PALAVRAS CHAVE**

**modelo simulador, modelo de previsão, demanda de água, abastecimento de água, operação em tempo real**

#### **INTRODUÇÃO**

O controle de sistemas adutores pode oferecer maior ou menor segurança operacional e, a segurança interfere diretamente na eficiência da operação. O controle automático indica falhas que podem ser contornadas pelo controle manual aumentando a segurança operacional. Quando a operação de rotina é automática e a equipe de controle pode voltar

maior atenção ao planejamento ou programação da operação, buscando maior eficiência. Isso é claro, sem prescindir da experiência e senso de decisão dos controladores disponíveis em todo momento para uma intervenção no sistema a qualquer situação anômala ou de emergência, garantindo segurança ao controle.

Segundo Zessler e Shamir (1989), um sistema de controle de abastecimento eficiente é aquele que utiliza softwares de análises, simulação e otimização da operação no sistema de abastecimento. Zahed (1990) ainda acrescenta modelos de previsão de demanda de água para a melhoria da operação de distribuição, em sistemas adutores. Lertpalangsunti et al. (1999) concorda que implantar um modelo de previsão de consumo de água em sistemas de abastecimento é um fator muito importante para selecionar o melhor caminho dentre as alternativas na tomada de decisão. Baseado nisto, Borges (2003) criou uma interface entre os modelos de simulador e de previsto de demanda de água e aplicou em um estudo de caso.

Os modelos de previsão de demanda de água para aplicação na operação de sistemas adutores estão evoluindo, mas são pouco divulgados. Sobre modelos que definem regras operacionais para sistemas adutores conhece-se muito pouco sobre aplicações práticas.

A implantação de um modelo de operação que implementa um modelo de previsão de demanda de água, em tempo real a um modelo de simulação hidráulica e possibilita a programação de regras operacionais diárias, segue uma tendência percebida na literatura técnica que pouco conhecimento se tem de casos aplicados. Um caso de aplicação de um modelo semelhante, que ainda implanta um modelo de otimização conhecida se deu no sistema de abastecimento de Berlin, na Alemanha, em 2005 (Burgscheweiger et al. - 2005). Outro caso interessante foi à aplicação do modelo de previsão de demanda de água desenvolvido por Leon et al. (2000) testado em Sevilha, com um resultado de cerca de 25% de economia nos custos de energia elétrica sobre a operação anterior.

Dando seqüência a este trabalho apresenta-se a aplicação de um modelo de operação em um sistema de controle, integrando um modelo de previsão de demanda de água em tempo real, um modelo simulador hidráulico e um sistema de controle automático, avaliando os resultados e a melhoria na performance da operação.

## RECURSOS NECESSÁRIOS

Uma primeira etapa no desenvolvimento tecnológico de um sistema de controle operacional, onde a aquisição de dados é em tempo real, para que o Centro de Controle Operacional (CCO) trabalhe contando com o apoio de modelos, é o investimento na escolha dos modelos. Na escolha dos modelos devem-se pensar além da robustez e viabilidade econômica, o relacionamento comercial, a disponibilidade de atualizações, customizações e adequações de ferramentas que se fazem necessárias ao longo do tempo de uso, a facilidade de comunicação entre softwares e o nível de treinamento para manuseio da ferramenta.

Entretanto, os modelos matemáticos resultam em informações na mesma qualidade dos dados iniciais de entrada. Assim, se os dados cadastrais e dados históricos operacionais e de consumo tiverem uma qualidade boa os resultados dos modelos serão bons e se a qualidade dos dados de entrada forem insatisfatórios os resultados dos modelos serão também insatisfatórios.

Os dados cadastrais e históricos devem ser percebidos como de grande importância e tratados de maneira estratégica.

A utilização dos dados históricos exige a criação de ferramentas estatísticas, estabelecendo critérios de consistências.

O investimento na tecnologia GIS (*Geographic Information System*), como ferramenta de gestão e planejamento, proporciona condições para o desenvolvimento de uma interface

com os modelos matemáticos trazendo de ganho a qualidade dos dados e redução no tempo de preparação e montagem da topologia nos modelos.

O sistema geográfico, com a possibilidade de criação de rede, através de integrações e interfaces pode e deve receber a alimentação de dados em tempo real, de um sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

Uma outra etapa, é a integração de um modelo de previsão de consumo de água ao sistema de controle operacional - SCADA.

Para o funcionamento de um modelo de operação que, atende de forma rápida as alimentações adequadas para um planejamento ou programação da operação, devem-se buscar modelos hidráulicos previamente preparados. Os modelos hidráulicos são preparados com a montagem da topologia, calibrados e com a calibração validada para o funcionamento em período estendido de acordo com o horizonte de planejamento pretendido (24 horas). Com as interfaces entre o GIS, o SCADA e os modelos de simulação e de previsão de demanda de água já construídas podem-se valer delas para a preparação dos modelos hidráulicos.

Finalmente, devem-se deixar preparadas as regras operacionais iniciais que indicam as metas e premissas a serem seguidas para a redução do custo de energia, número de manobras operacionais e garantia de atendimento de abastecimento.

Uma sofisticação ao modelo de operação se dá no vínculo de um sistema de manutenção e ocorrências para a identificação de eventos planejados, ao longo do dia que, possam causar variações da condição típica conhecidas e, portanto, contornáveis na excussão do planejamento da operação futura.

Na implantação de um sistema de suporte a decisão considera-se a gestão da operação, como aquela que trata da necessidade do aperfeiçoamento contínuo da operação. Assim, para o acompanhamento e avaliação da operação, no momento pós-operacional, de forma a permitir o aperfeiçoamento contínuo da operação do sistema adutor metropolitano são necessárias ferramentas de consultas e correlação de dados.

## MODELO DE OPERAÇÃO

O modelo de operação é um sistema de suporte a decisão que estabelece planos de operação de curto prazo para a operação de um sistema adutor metropolitano.

O modelo de operação estabelece critérios para a consistência de dados, uma interface que transmite dados operacionais, em tempo real para o modelo de previsão de demanda de água e para o modelo simulador hidráulico, estabelece o objetivo da operação e as variáveis de restrição.

A companhia de saneamento básico do estado de São Paulo, que gerencia o sistema adutor metropolitano de São Paulo, após uma prospecção tecnológica, escolheu o modelo simulador Watercad. A empresa optou pelo modelo de previsão de demanda de água desenvolvido por Zahed (1990), após a demonstração da viabilidade de aplicação num estudo de caso realizado por Borges (2003), implantou o GIS e investiu na formação de rede entre seus sistemas corporativos ().

O modelo de operação importa os dados instantâneos de hora cheia de consumo e nível e situação de bomba. Em decorrência das falhas de transmissão e dos medidores nos pontos solicitados, faz-se uma análise de consistência e uma eventual substituição dos valores observados, por dados correspondentes da hora e semana anterior que contenha dados completos até 4 semanas anteriores a previsão.

O modelo de previsão de demanda de água, baseado na Série de Fourier, avalia sete dias anteriores à hora e data de início, o número de harmônicos da ordem de 21 e o número de

horas de antecedência de 6 horas, data e hora de início. O modelo de operação fica disponível para novo início logo após a primeira solicitação de cálculo. Assim, pode-se estabelecer uma regra operacional para as próximas 24 horas, sendo que após as seis primeiras horas, caso haja um distanciamento entre as condições planejadas e observadas, podem-se recalcular os consumos previstos atualizados para a operação das próximas 24 horas e assim por diante.

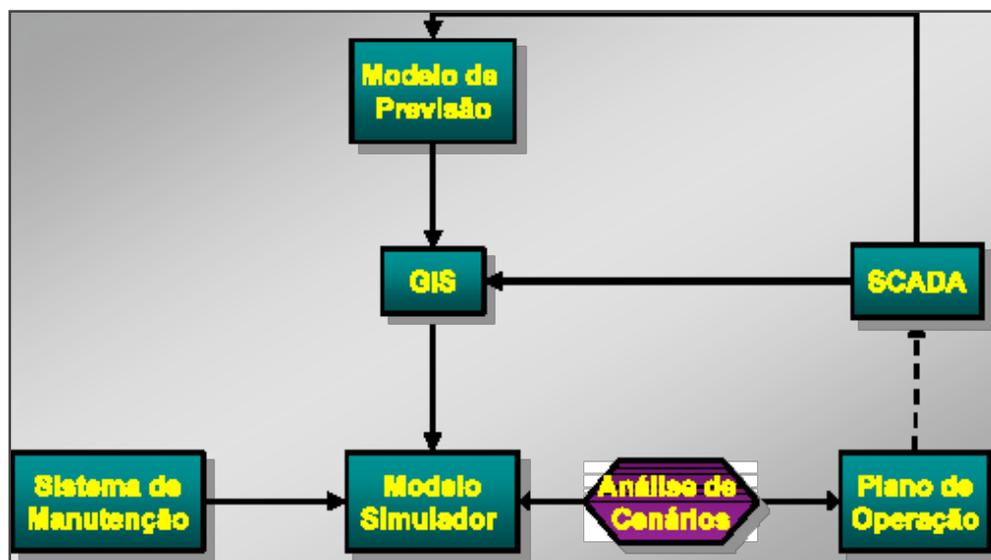
Os planos de operação são assimilados pelo sistema SCADA subsidiando as regras operacionais que deverão ocorrer, no curto prazo, num horizonte de tempo de 24 horas. Os planos de operação geram como resultado regras operacionais do tipo: liga/desliga bomba e vazões que passam sob as válvulas de controle ao longo do tempo, em relação a determinado nível de água do reservatório de distribuição.

A execução do plano de operação em tempo real, ocorre após a definição das regras operacionais levantadas pelo modelador e validadas no modelo simulador. O plano de operação estabelece, por consequência da minimização do número de manobras no sistema adutor, uma menor variação na produção de água nas Estações de Tratamento de Água.

Definidas as regras operacionais previstas para as próximas 24 horas, enviam-se as regras ao sistema SCADA, e através do sistema telemétrico, a implementação no campo ao longo do período.

Após a assimilação do SCADA das regras estabelecidas, a qualquer momento pode ocorrer uma interrupção na programação, então seguem-se o mesmo roteiro para estabelecer um novo plano de operação.

Na figura 1 abaixo apresentam-se o fluxograma do modelo de operação e a adequada preparação para uma etapa futura com a inserção de um modelo de otimização de regras operacionais.



**Figura 1 – Fluxograma do modelo de operação.**

O plano de operação objetiva reduzir as manobras de abertura de válvula e de acionamento de bombas e ainda restringiu a permanência de bombas ligadas no período de “ponta” de energia. O processo de busca pela minimização partiu de cada reservatório, não se pretendendo alcançar um modelo de otimização global, através da exaustão manual, e sim com a intenção de se alcançar um ganho de eficiência na operação.

## RESULTADOS

A realização de um estudo de caso permitiu uma avaliação dos resultados na implantação do modelo de operação. Foram avaliados três casos: a própria condição de operação realizada; a segunda condição considerando um modelo de previsão de demanda perfeito, ou seja, considerando como demandas futuras previstas aqueles valores passados; a terceira condição utilizando o modelo de previsão de demanda escolhido para programar uma operação diária. As tabelas 1, 2 e 3 apresentam uma comparação dos resultados atingidos.

TABELA 1 – Comparação do nº de manobras de bomba nas operações

SCOA		Nº de Manobras de bomba		
		operação real	operação perfeita	operação prevista
145	B01	3	2	2
	B02	1	-	-
	B03	4	2	2

TABELA 2 – Comparação dos tempos de bomba ligada no horário de ponta das operações

SCOA		Tempo de bomba ligada no horário de ponta (n)		
		operação real	operação perfeita	operação prevista
145	B01	180	120	120
	B02	-	-	-
	B03	180	120	120

TABELA 3 – Comparação do nº de manobras de válvula nas operações

SCOA	Nº de Manobras de Válvula		
	operação real	operação perfeita	operação prevista
24	1	3	4
94	12	3	3
96	18	3	3

Nas tabelas comparativas, observa-se que a introdução de um modelo de previsão de demanda de água, em tempo real, oferece um ganho significativo na quantidade de manobras de bombas e válvulas, diminuindo a formação de transientes hidráulicos e no consumo de energia no horário de ponta, de custo mais elevado. A programação da operação, também reduz o acionamento de bombas em intervalos extremamente curtos, gerando um ganho na vida útil dos equipamentos.

Trabalho semelhante foi realizado em Edmonton, Alberta – Canadá, com o desenvolvimento de um modelo de previsão de demanda de água, utilizando redes neurais para previsões diárias. O modelo de previsão de demanda diária de Stark et al. (1999) considerou fatores meteorológicos como temperatura, precipitação, sazonalidade e fatores como se um dia da semana ou do final de semana e o consumo da hora que antecede a operação de bombeamento. Este modelo foi utilizado na operação do sistema de abastecimento de San Diego, acoplado aos modelos de otimização e de simulação da rede.

Na implantação do modelo de previsão de demanda de água no sistema adutor metropolitano de São Paulo observou-se que a reação da equipe de operadores foi inicialmente de desconfiança sobre suas situações funcionais frente ao automatismo. Essa incerteza gerou um acompanhamento intenso da equipe junto à equipe de implantação e desenvolvimento trazendo contribuições às etapas futuras oferecendo uma boa percepção das restrições de operação do sistema adutor.

O desenvolvimento da interface entre o SCADA e o GIS avançou sobre estabelecer a alimentação do modelo simulador hidráulico, de forma automática, com os dois tipos de dados: cadastrais e operacionais. Apesar desta interface, ainda à falta de dados cadastrais em pontos importantes para a operação do sistema adutor. Assim, a inserção de dados cadastrais encontra-se em evolução gradativa.

Com a implantação do modelo de previsão de demanda de água e com o desenvolvimento da interface entre o SCADA e o GIS, completaram-se as alimentações do modelo simulador hidráulico com estes dados também.

A implantação deste modelo de operação encontra-se em desenvolvimento na região metropolitana de São Paulo, mudando a filosofia de operação para uma das mais modernas do mundo.

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para subsidiar a operação de um sistema de adução que sofre com as condições de escassez de água, com pequeno volume de reservação e muitas vezes capacidade de adução limitada pelas características físicas da topografia e do sistema adutor, propõe-se um sistema de suporte a decisão que nas fases intermediárias de implantação tem-se alcançado bons resultados.

A etapa de implantação do modelo de operação, onde se implantou o modelo de previsão de demanda de água recebendo dados operacionais, em tempo real, e resultando demandas previstas para as próximas 24 horas apresentadas nas telas de operação do SCADA foi importante para preparar as equipes para mudanças na forma de operar.

O desenvolvimento da etapa - interface SCADA e GIS - se mostrou um importante evolução na operação do sistema de abastecimento instituindo tecnologia mundial de ponta, superando aplicações em mercados de países desenvolvidos (Grupo Águas de Valencia - 2006).

A aplicação do modelo de operação no estudo de caso possibilitou a comparação entre as condições de operação ocorrida na forma atual, com a utilização de um modelo de previsão perfeito e com a utilização do modelo de previsão baseada na série de Fourier demonstrando que o modelo de previsão escolhido atende às necessidades de ganhos operacionais sem o investimento em sofisticções ao modelo. O estudo de caso confirmou a obtenção de ganhos operacionais, abrangendo além da rapidez e maior confiabilidade no processamento de dados e tomada de decisão, também atendendo a preocupação com a complexidade do sistema.

Como produto final da operação subsidiada por um sistema de apoio a decisão espera-se oferecer como solução, principalmente segurança a operação do sistema de abastecimento em tempo real, distribuindo água de forma a atender as demandas. Em segundo lugar, espera-se obter melhoria na performance operacional: com ganho no custo de energia elétrica, deixando de utilizar energia no horário de ponta, de custo mais elevado; aumento da vida útil das instalações, com a redução do número de manobras e; melhor programação no tratamento de água, com menores oscilações de retirada de água tratada.

O modelo de operação não pretende encontrar a regra operacional ótima, porém recomenda e prepara-se para a introdução de um modelo de otimização para operação em tempo real, como uma etapa futura.

A implantação de um modelo de operação proporciona a transformação de um capital intelectual humano em estruturado. Desta forma, a operação ganha um padrão de qualidade, uniformizando a operação realizada entre os diferentes controladores ou operadores do sistema.

A condição de simulação das regras operacionais pelos controladores ou operadores faz com que os mesmos desenvolvam um espírito crítico em relação às condições do sistema e das variações ocorridas na operação.

Num mercado globalizado, cada vez mais competitivo e exigente, não se permitem gastos desnecessários como aqueles causados por um equívoco operacional devido a tomadas de decisão não ideal. Ao mesmo tempo, constatam-se avanços técnicos operacionais praticados por empresas internacionais atuantes do setor indicando que o caminho que se pretende discutir reflete como um auxílio viável às ações operacionais. Assim, é possível concluir que o modelo de operação proposto constitui-se em condição indispensável para o ganho de eficiência, confiabilidade e segurança operacional. E dessa forma, conseqüentemente ganhos nos custos operacionais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BORGES, V. M. N. A. - Acoplamento de um modelo de previsão de demanda de água a um modelo simulador em tempo real – um estudo de caso: sistema adutor metropolitano de São Paulo. 2003. 205 p. Dissertação Mestrado – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo.
2. BURGSCHEWEIGER, J.; GNADIG, B.; STEINBACH, M. C. Nonlinear Programming Techniques for Operative Planning in Large Drinking Water Networks. Artigo retirado da Internet. (<http://www.zib.de/Optimization/Projects/NonLin/WaterNetOpt/WaterNetOptlong.en.html>). Dezembro, 2005.
3. GRUPO AGUAS DE VALENCIA. Material retirado da Internet, Seção Tecnologia / Gestão Avançada de Rede / Modernização. (<http://www.aguasdevalencia.es/marcos.htm?ap=5>). Janeiro, 2006.
4. LEON, C.; MARTÍN, S; ELENA, J. M.; LUQUE, J. EXPLORE-Hybrid system for water networks management. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 126, n. 2, p.65-74, 2000.
5. LERTPALANGSUNTI, N.; CHAN, C. W.; MASON, R.; TONTIWACHWUTHIKUL, P. A toolset for construction of hybrid intelligent forecasting systems: application for water demand prediction. Artificial Intelligence in Engineering, vol. 13, n. 1, p.21-42, 1999.
6. STARK, H. L.; STANLEY, S. J.; BUCHANAN, I. D. Water demand forecasting using artificial neural networks. OWWA and OWWA Joint Annual Conference. 1999.
7. ZAHED, K. F. - Previsão de demanda de consumo em tempo real no desenvolvimento operacional de sistemas de distribuição de água. Tese de doutorado, Escola Politécnica da USP. 135p, 1990.
8. ZESSLER, U.; SHAMIR, U. Optimal operation of water distribution systems. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 115, n. 6, p.735-752, 1989.

