

UTILIZAÇÃO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA EM PLANOS DE VIGILÂNCIA E DE CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Júlio F. FERREIRA DA SILVA¹; Sofia M. P. Bragança Salgado²

RESUMO

Neste trabalho descreve-se a incorporação dum modelo de simulação hidráulica nos planos de vigilância e de controlo da qualidade da água para consumo humano. Um modelo de simulação do escoamento e da qualidade da água num sistema de abastecimento e de distribuição é uma ferramenta que pode ser usada para a definição de programas operacionais que garantam a continuidade do serviço e a qualidade da água junto dos utilizadores.

Faz-se a aplicação dum modelo de simulação hidráulica e de qualidade à gestão dum sistema concreto de abastecimento de água composto por diversos órgãos. O primeiro objectivo é relativo à definição de esquemas de funcionamento de forma a manter o cloro residual acima do valor mínimo recomendável. Após análise dos resultados do modelo de simulação, as alturas dos interruptores de nível nos reservatórios podem ser ajustadas para que a água não fique muito tempo retida nas células e, subseqüentemente, seja mantido sob controlo o cloro residual, ou seja a qualidade. Exemplifica-se, também, a utilização do modelo de simulação na gestão de situações de emergência e no controlo do caudal no sistema adutor principal para garantir o abastecimento aos diversos reservatórios. Este tipo de modelo pode ser usado como ferramenta de apoio à decisão na definição dos locais de implantação de postos de controlo da qualidade da água.

Palavras-chave: Sistemas de abastecimento e distribuição de água. Modelos de simulação hidráulica e de qualidade. Planos de vigilância e de controlo da qualidade da água.

¹ Doutor em Engenharia Civil – Hidráulica, julioffsilva@gmail.com

² Eng.^ª Agrícola, mestranda em Biotecnologia – Engenharia de Bioprocessos, sofiabraganca@gmail.com

1 - INTRODUÇÃO

Um modelo de simulação do escoamento e da qualidade da água num sistema de transporte e de distribuição constitui um instrumento útil para o planeamento, o projecto e para a gestão técnica destes sistemas de utilização da água. O recurso a um modelo de simulação pode fazer-se para que seja assegurada a correcta exploração dos sistemas, garantindo a satisfação das condições hidráulicas e de qualidade, como, também, para o melhor planeamento das intervenções de manutenção e das eventuais remodelações e expansões.

A análise da qualidade da água nos sistemas de abastecimento e de distribuição apresentou no passado algumas dificuldades, no entanto, têm-se assistido, nos últimos tempos, a um esforço crescente no desenvolvimento de modelos que mostrem a evolução da qualidade da água ao longo do tempo nos diversos órgãos dos sistemas de captação, de transporte, de armazenamento e de distribuição. Este interesse é, em especial, motivado pela preocupação com a garantia de uma concentração mínima do cloro residual.

A aplicação dos modelos de simulação hidráulica e de qualidade à gestão de sistemas de abastecimento de água pode visar o controlo dos caudais escoados nas condutas mestras, o controlo do cloro residual junto dos utilizadores, a definição de esquemas de operação dos sistemas elevatórios, a operação dos equipamentos de desinfecção e controlo de qualidade, a localização dos postos de reforço da desinfecção (postos de rechloragem), a definição de regras de operação face a situações de emergência, etc. Este assunto continua a ser objecto de diversos estudos de investigação e outros com cariz mais prático, designadamente DIAS (2002); VIEIRA (2002), FERREIRA DA SILVA (2005), VIEIRA (2006) e SMEETS (2008). A Organização Mundial de Saúde recomenda em diversas publicações, incluindo WHO (2005), que as entidades gestoras de sistemas de distribuição domiciliária de água possuam planos e programas operacionais que garantam a segurança da qualidade da água. Esta garantia da qualidade da água pode ser conseguida esquematizando estratégias e programas de operação dos sistemas que visem a vigilância e o controlo da qualidade. As ferramentas que permitem a simulação do funcionamento hidráulico e da qualidade da água nos sistemas de distribuição possibilitam testar antecipadamente essas diversas estratégias alternativas e seleccionar aquela que melhor respeita as recomendações técnicas e garante a qualidade da água e do serviço de distribuição.

De forma a esclarecer o mérito da utilização de ferramentas de simulação hidráulica em planos de vigilância e de controlo da qualidade da água construiu-se um modelo de simulação dum caso concreto com múltiplas adutoras, reservatórios, estações elevatórias e redes de distribuição. Utilizou-se o EPANET que é um modelo de simulação em computador que permite analisar a qualidade da água ao longo do tempo num sistema de distribuição sujeito a diversas condições operacionais. O caso de estudo é relativo ao Sistema de Abastecimento de Água com origem na freguesia de Gondomar do concelho de Guimarães. Este sistema de abastecimento é gerido pela VIMAGUA – Empresa de Água e Saneamento de Guimarães e Vizela, E.I.M., S.A.

2- INTERESSE DA INCORPORAÇÃO DUM MODELO DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA NUM PLANO DE VIGILÂNCIA E DE CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Os modelos de simulação do escoamento e da qualidade da água são uma das principais componentes da gestão técnica das diversas componentes dum sistema de abastecimento e de distribuição. Os esquemas de exploração dos diversos órgãos devem ser racionais e, preferencialmente, optimizados. Os procedimentos de gestão devem culminar em programas operacionais que garantam a continuidade do serviço e a qualidade da água, respeitando as recomendações técnicas.

Os sistemas de abastecimento de água são concebidos e dimensionados para horizontes de projecto, em geral, superiores a vinte anos, sendo usual a adopção de quarenta anos em empreendimentos de pequena e média dimensão. Tal facto leva, inevitavelmente, à construção de órgãos que nos primeiros anos do seu período de vida útil apresentam uma capacidade excedentária. Esta situação pode ter consequências indesejáveis na qualidade da água, por exemplo, motivadas pelos elevados tempos de retenção da água nos reservatórios. Os modelos de simulação do escoamento e de qualidade da água podem ser usados para a definição de programas de exploração que mitiguem esses eventuais problemas. Por exemplo, os modelos disponibilizam diversas informações, como a idade da água, a velocidade de escoamento nas condutas das redes ou o cloro residual nos diversos órgãos, que poderão ser usadas para a fundamentar algumas medidas, designadamente o controlo de caudais nas adutoras, através da manobra de válvulas, ou a alteração do volume de água nas células dos reservatórios, por alteração da posição dos interruptores de nível.

Na exploração dum sistema de abastecimento existem algumas manobras que devem ser antecipadamente simuladas para que o risco de eventual degradação da qualidade da água seja minimizado. Por exemplo, a regulação de caudais nas adutoras ou a concentração de caudais em dado ponto dum sistema de abastecimento para responder a uma situação de emergência, são operações que devem ser realizadas sem que haja qualquer valor negativo da altura piezométrica em todo o sistema. Assim, ficará antecipadamente minimizado o risco de eventual sucção de águas freáticas eventualmente contaminadas / poluídas para o interior das condutas do sistema de abastecimento.

Muitas vezes, os projectistas, os engenheiros de produção e os gestores dos sistemas urbanos de utilização da água recomendam e implementam sistemas secundários redundantes que permitem a continuação do serviço de abastecimento em caso de avaria em algum dos órgãos do sistema principal. O recurso eventual a sistemas secundários e só em caso de emergência deve ser objecto de cuidada análise, dado que poderão fazer com que grandes volumes água fiquem estagnados e, subsequentemente, ocorra uma degradação da qualidade da água. Os modelos de simulação poderão ser usados para a definição de esquemas de exploração em que a qualidade da água seja um dos critérios de decisão e não apenas a disponibilidade.

3- DESCRIÇÃO GERAL DOS PROCEDIMENTOS DE VIGILÂNCIA E DE CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM ORIGEM EM GONDOMAR - GUIMARÃES

As actividades de controlo da qualidade da água desenvolvem-se de acordo com o Plano de Controlo de Qualidade da Água – PCQA, definido no final de cada ano civil, o qual integra a vertente do controlo legal e do controlo operacional ou vigilância. O controlo legal refere-se ao cumprimento dos requisitos legais aos quais a VIMAGUA está obrigada enquanto entidade gestora de sistemas de abastecimento de água para consumo humano. Este controlo é exercido pelo Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR). O controlo operacional ou de vigilância, tem como objectivo comprovar o nível da qualidade da água para consumo humano em toda a extensão do sistema de abastecimento e detectar, em tempo útil, possíveis anomalias, ocasionais ou sistemáticas, de modo a permitir que sejam postas em prática medidas preventivas eficazes. Nestes procedimentos de vigilância é dada particular atenção à monitorização do cloro residual.

Os procedimentos de vigilância e de controlo da qualidade da água no sistema de abastecimento de água com origem em Gondomar - Guimarães incluem: a monitorização da qualidade da água na captação, na estação de tratamento, nos reservatórios e em diversos pontos das redes de distribuição. Nas visitas de rotina aos órgãos do sistema de abastecimento é usualmente realizada a medição do valor de cloro livre e de pH. Faz-se, também, o registo dos volumes de água cedidos pelos reservatórios às respectivas redes. De cada vez que existe um incumprimento de um valor paramétrico, é aberto um registo de ocorrência que determina uma investigação com vista à pesquisa e identificação de causas potencialmente relacionadas com a ocorrência em questão, bem como, a definição de eventuais medidas preventivas e/ou correctivas a adoptar para a resolução do problema detectado e prevenir futuras ocorrências.

4- APLICAÇÃO AO PLANO DE CONTROLO E DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA AO SECTOR DE GONDOMAR – GUIMARÃES

4.1 - Descrição do sistema de abastecimento

O sector de abastecimento de água de Gondomar do concelho de Guimarães é constituído por uma captação de sub-leito realizada no rio Ave, concretamente na curva do Bioso, por um conjunto de adutoras e por (7+1) reservatórios. O prolongamento da adutora principal deste sector até ao reservatório de Ponte visou libertar a central de Prazins / Taipas do abastecimento à mancha geográfica servida por aquele reservatório. A captação de Bioso Gondomar fica implantada à cota 132 m. A adutora elevatória é em ferro fundido dúctil e possui diâmetro de 150 mm. A estação de tratamento fica junto do reservatório de Gondomar que está implantado à cota 260 m. Este reservatório é constituído por duas células de 250 m³. A partir deste reservatório é realizado o abastecimento aos restantes reservatórios do sector de Gondomar.

O sistema adutor é constituído por uma conduta principal de 200 mm em FFD que faz a ligação desde Gondomar até ao reservatório de Ponte (Taipas) que tem como cota de soleira 173 m. Da conduta principal saem derivações para os reservatórios de Donim (à cota de 180 m) e de Souto Sta. Maria (à cota de 198,5 m), respectivamente com comprimentos de 2255 m em PEAD PN16 90 mm e 1320 m em FFD 100 mm. Perto da ponte de Prazins de Sta. Eufemia existe a derivação para o reservatório de Briteiros Sto. Estêvão, implantado à cota 180 m. O reservatório de Souto S. Salvador está implantado à cota 195,5 m e está ligado ao troço principal por uma adutora em FFD de 100 mm com um comprimento de 657 m. O reservatório de Prazins Sto. Tirso é o que se localiza a uma altura mais elevada, 272,9 m. Este reservatório está ligado por uma adutora elevatória ao reservatório de Souto S. Salvador. Esta conduta elevatória é em PEAD 90 mm e tem uma extensão de 898 m. Por fim, o reservatório de Prazins de Sta. Eufémia está ligado por uma adutora, que deriva da adutora principal, com uma extensão de 522 m em FFD de 100 mm. Este reservatório tem a sua cota de soleira pelos 204,4 m. Todos os reservatórios possuem duas células cilíndricas, à excepção do reservatório de Souto Sta. Maria que é composto por apenas uma célula. Na figura seguinte está representado esquematicamente o sistema objecto do estudo.

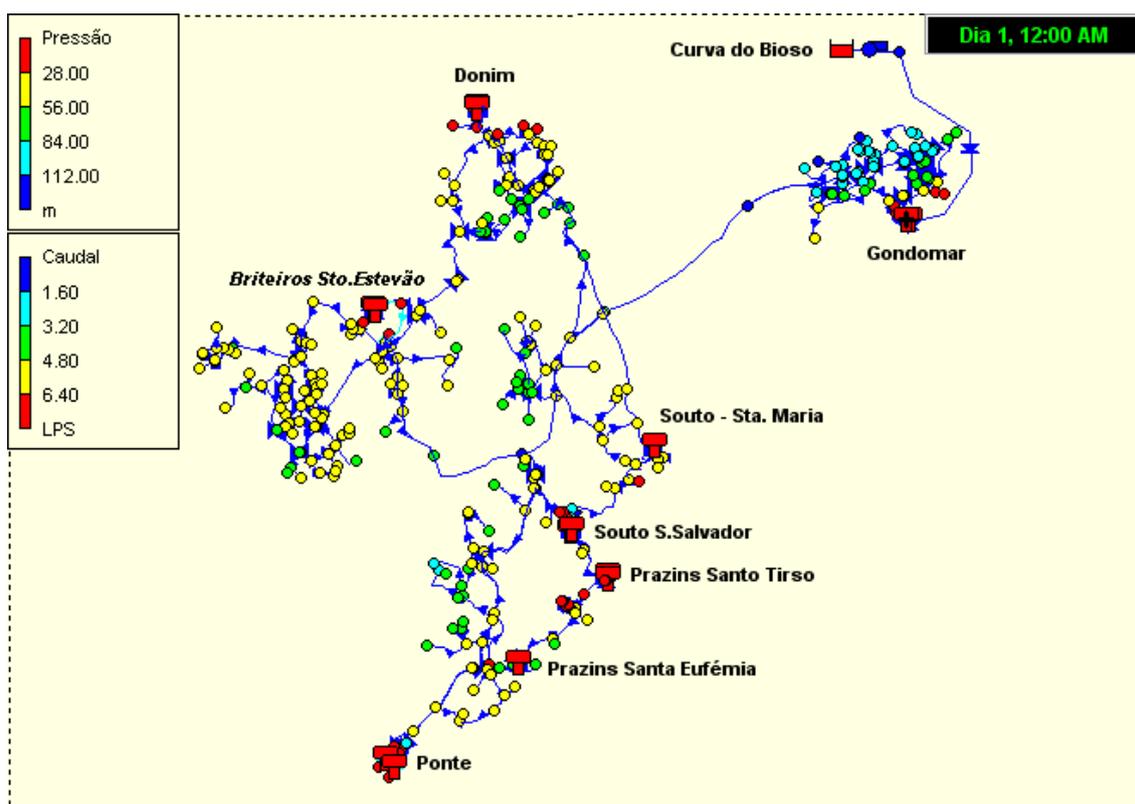


Figura 1 - Esquema geral do sector de abastecimento de Gondomar-Guimarães (EPANET)

4.2- Objectivos dos estudos

O desenvolvimento de um modelo de simulação do sistema de abastecimento de água ao sector de Gondomar teve como principais objectivos a análise das condições do escoamento e do decaimento do cloro no sistema adutor desde a

estação de tratamento até aos diversos reservatórios. Existem outros objectivos como a determinação do caudal máximo a disponibilizar complementarmente ao reservatório de Ponte e o controlo de caudais nas adutoras de forma a garantir a continuidade do abastecimento a todos os reservatórios. Como nos primeiros anos da vida útil dos reservatórios a capacidade de reserva é excedentária face às reduzidas solicitações dos utilizadores, então para evitar que água fique muito tempo retida os reservatórios pode reduzir-se as alturas a que estão colocados os interruptores de nível máximo e, assim, diminuir o volume útil de armazenamento. Usando o EPANET consegue determinar-se o caudal e a altura piezométrica em qualquer momento e ponto do sistema e, assim, melhorar o conhecimento sobre o funcionamento dinâmico do sistema, inclusive sobre o modo como se efectua o decaimento do cloro no sistema de distribuição.

4.3- Considerações sobre a modelação do sistema

O período de simulação hidráulica considerado foi de 168 horas (7 dias) tendo em vista a observação da evolução do sistema ao longo duma semana. O incremento de tempo considerado no cálculo hidráulico foi 1 hora. Os padrões das utilizações de água considerados tiveram como base um estudo dos registos horários recolhidos numa freguesia do concelho de Guimarães vizinha deste sistema de abastecimento. De forma a retratar, as situações de ponta, considerou-se a situação mais desfavorável no dia de sábado às 13 horas, adoptando os factores de pontas respectivos para cada uma das redes. Na figura seguinte estão representados os padrões de diagramas cronológicos de caudais usados, onde se pode distinguir evoluções distintas para os dias de trabalho, para os sábados e para os domingos.

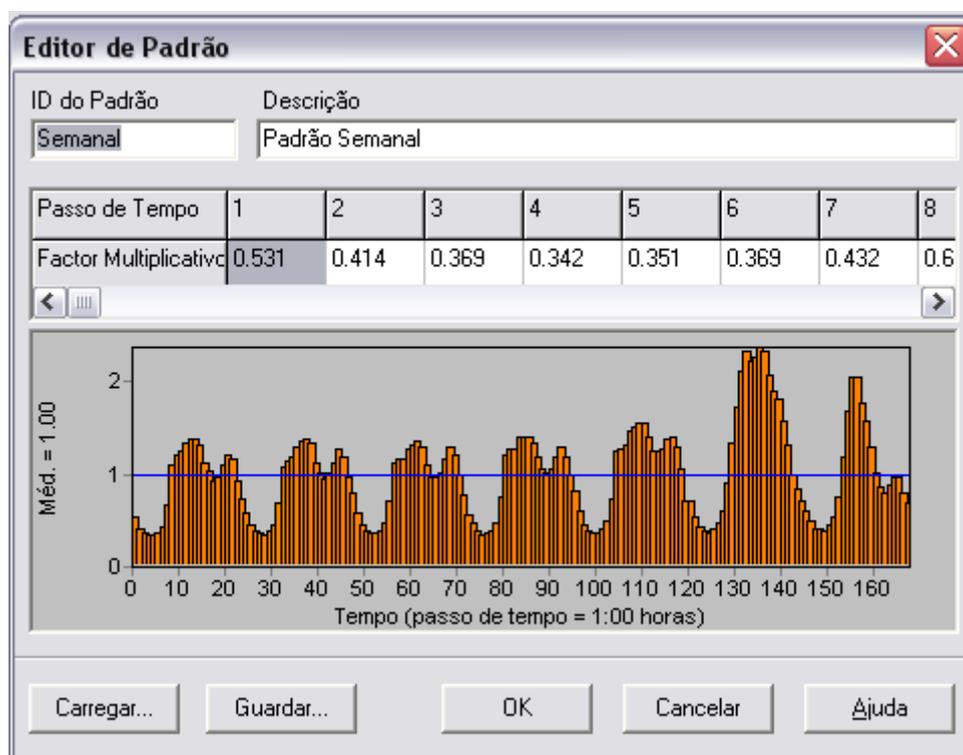


Figura 2 - Padrões das utilizações horárias (168 Horas).

Na figura seguinte mostra-se um exemplo da aplicação concreta destes padrões de utilizações de água a um nó da rede de distribuição de Donim.

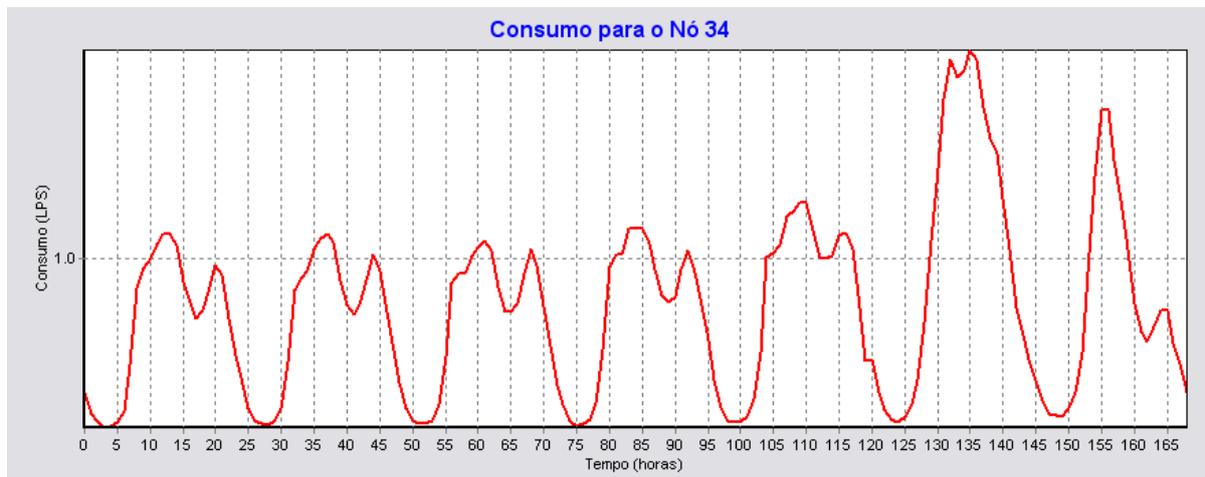


Figura 3 - Utilizações num nó rede de distribuição de Donim

Foi seleccionada a fórmula *Hazen-Williams* como equação de resistência. Foi fixado um número máximo de 40 iterações com um critério de convergência de 0,001.

Na captação da curva de Bioso considerou-se um reservatório de nível fixo. As horas de funcionamento dos grupos electrobomba da captação foram controladas perante o nível que é atingido no reservatório de Gondomar, ou seja, se as células atingem a sua altura máxima as bombas deixam de trabalhar e caso atinjam a altura mínima o grupo retoma o seu funcionamento. O funcionamento do grupo de electrobomba é, também, definido em função dos diferentes períodos horários estabelecidos no tarifário de energia eléctrica. Assim, o equipamento de elevação desliga preferencialmente nos períodos de ponta (10h-12h e 19h-21h), sempre que o nível no reservatório de Gondomar seja superior ao valor mínimo da altura.

Na entrada de cada célula dos reservatórios foi colocada uma válvula de alívio (VA) de forma a simular que a entrada na célula se faz a acima do nível máximo de cada reservatório sendo portanto a altura piezométrica igual a zero. Para além da VA foi, também, colocada a montante dos reservatórios uma válvula reguladora de caudal (VRC) para eventual controlo do caudal que entra em cada reservatório.

De forma a controlar as alturas de água nos reservatórios e as horas de funcionamento dos grupos electrobomba o EPANET permite dar um conjunto de instruções através do editor de controlos. Relativamente ao nível dos reservatórios foi dada a instrução para fechar o troço de chegada ao reservatório quando a água atingir o nível máximo do reservatório e abrir novamente o troço mal a água atinja o nível igual a 1 m ou 1.2 m consoante o reservatório. Na figura seguinte mostram-se, a título de exemplo, os controlos simples relativos ao funcionamento dos reservatórios.

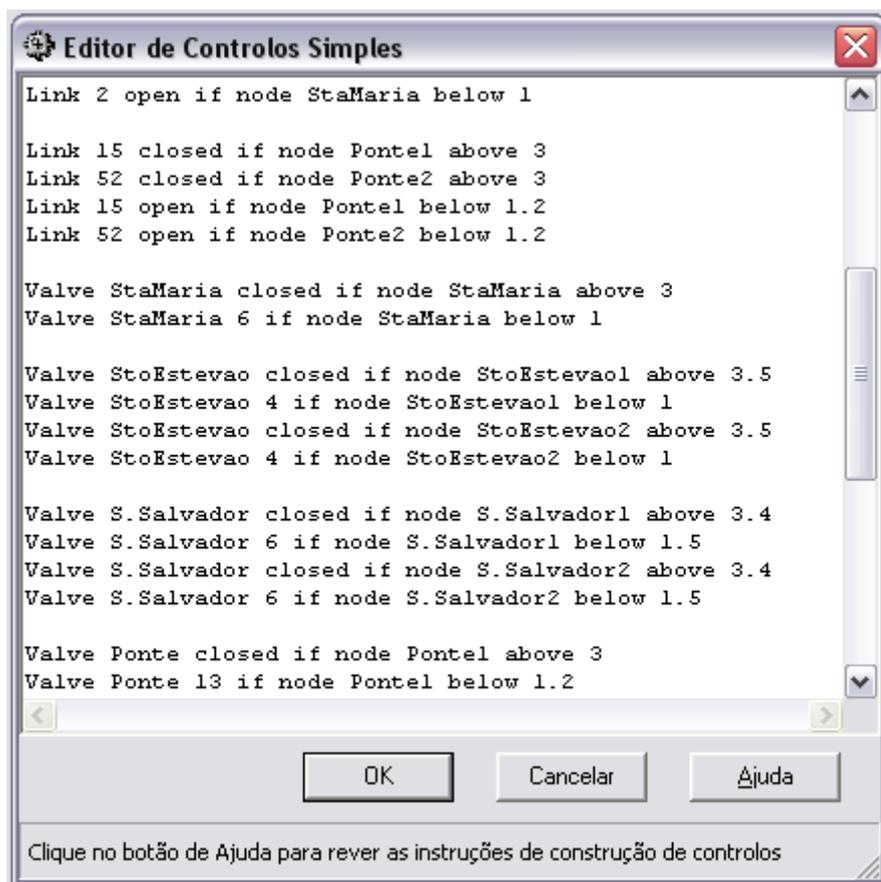


Figura 4 - Exemplos de controlos simples para determinar o funcionamento dos reservatórios

4.4- Modelação de decaimento do cloro no sector de Gondomar - Guimarães

Para a modelação o decaimento do cloro no seio da água e também para as reacções nas paredes da tubagem considerou-se um intervalo de tempo 5 minutos e utilizou-se o modelo cinético de primeira ordem. O valor considerado na tolerância da qualidade foi de 0,01. As opções de qualidade e relativas às reacções encontram-se registadas na figura seguinte:

Qualidade Opções		Reacções Opções	
Propriedade	Valor	Propriedade	Valor
Parâmetro	Cloro	Ordem da Reacção no Escoamento	1
Unidades de Massa	mg/L	Ordem da Reacção na Parede	First
Difusão Relativa	1	Coef. Reacção no Escoamento	-2
Nó a Rastrear		Coef. Reacção na Parede	0
Tolerância de Qualidade	0.01	Concentração-Limite	0
		Coef. Dependência c/ Rugosidade	0

Figura 5 - Opções de modelação do decaimento do Cloro

A estação de tratamento de água fica junto ao reservatório de Gondomar. Por intermédio da opção do editor de origem de qualidade do EPANET é possível definir a concentração-base e, desta forma, simular uma injeção de cloro no reservatório

de Gondomar. Foi considerada a mistura completa como modelo para caracterizar as reacções de mistura nas células dos reservatórios. No início da simulação todos os reservatórios apresentam um nível inicial igual à altura máxima de funcionamento. Na figura seguinte estão representadas as evoluções do cloro em alguns reservatórios do sistema de abastecimento, admitindo as solicitações de água projectadas para o arranque do funcionamento do sistema. A observação do gráfico permite-nos constatar que existe um comportamento diferente da evolução do cloro no reservatório de Souto Sta. Maria. Isto deve-se ao facto do reservatório de Souto Santa Maria só possuir uma célula e, portanto, os ciclos de enchimento e de cedências à rede de distribuição serem diferentes. O tempo em que a água está retida neste reservatório é, relativamente, mais reduzido, o que evita o decaimento acentuado da concentração de cloro.

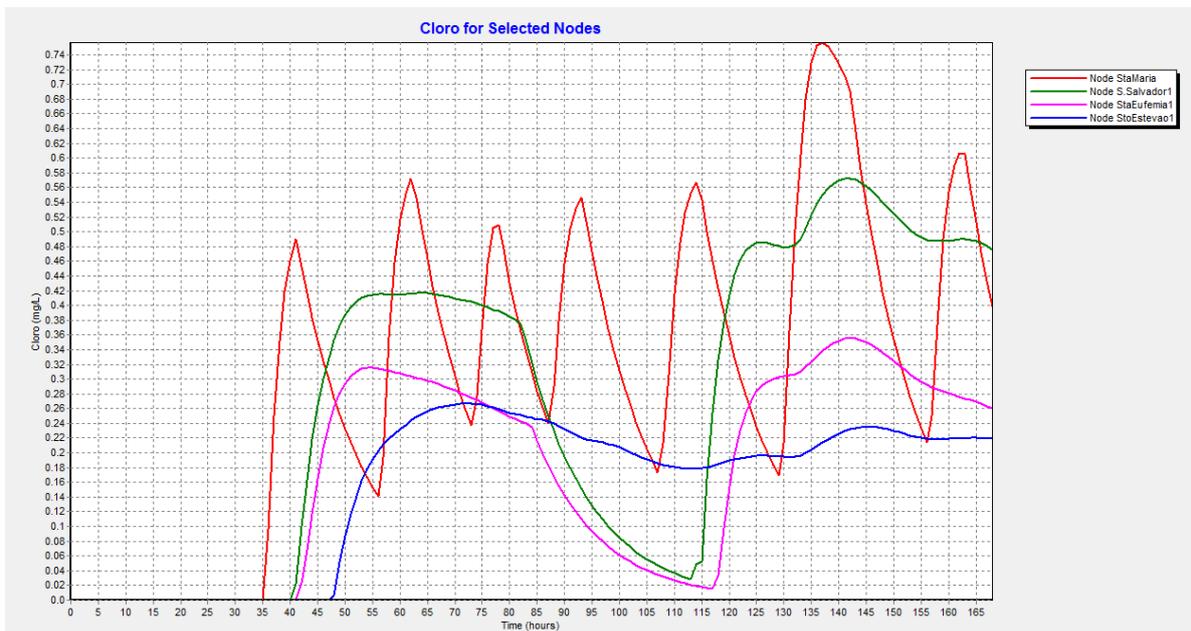


Figura 6 - Concentração de cloro em alguns reservatórios no arranque do sistema

As condições de operação do sistema, em especial a altura dos interruptores de nível colocada no valor máximo da água nas células, fazem com que a água esteja muito tempo retida em alguns reservatórios (por exemplo, Souto S. Salvador e Prazins Sta. Eufémia) e, subsequentemente, os teores de cloro nesses reservatórios sejam baixos durante alguns intervalos de tempo. Pode experimentar-se outras condições de operação com o objectivo de fazer subir os valores mínimos de cloro, designadamente reduzindo o volume útil de regularização. No entanto, as novas alturas dos interruptores de nível devem permitir que as quantidades de água solicitadas fiquem garantidas e que a distribuição se faça em adequadas condições técnicas. O modelo de simulação possibilita o teste dessas novas condições de exploração. Na figura seguinte apresenta-se a concentração do cloro nos mesmos reservatórios encontrada após sucessivas simulações onde se foi reduzindo a altura dos interruptores de nível. Pode verificar-se que face às mudanças nas condições de funcionamento dos reservatórios é possível elevar o teor mínimo de cloro até valores próximos do valor de referência.

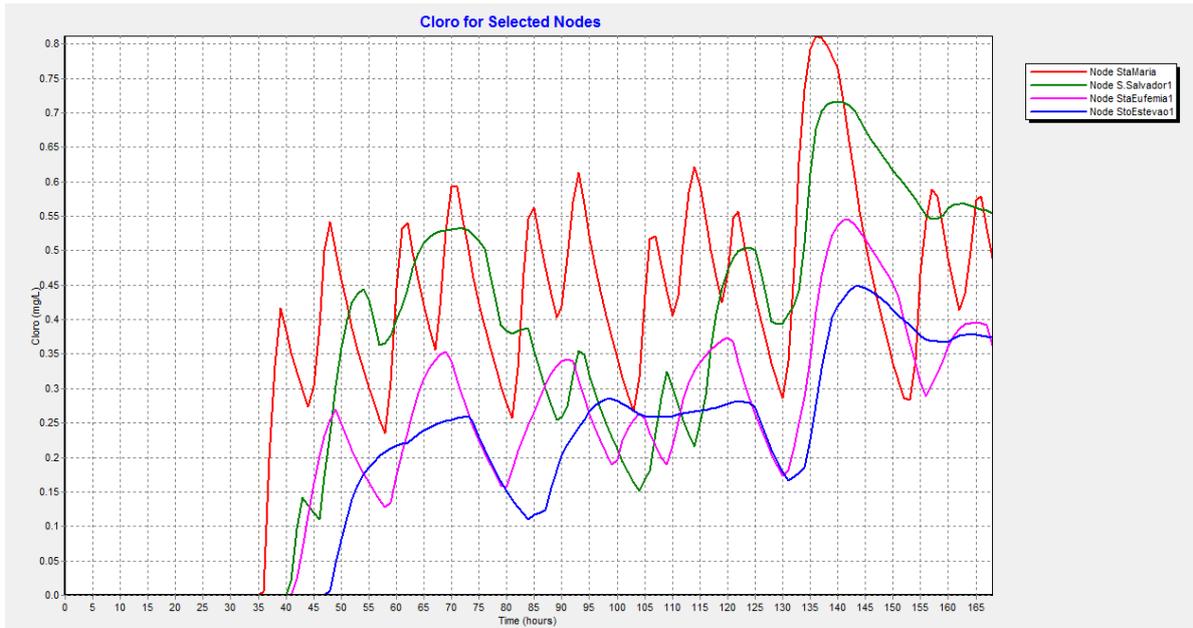


Figura 7 - Resultados da simulação do decaimento do cloro em alguns reservatórios no arranque do sistema baixando altura do interruptor de nível máximo da água

4.5- Controlo do caudal no sistema adutor principal para garantir o abastecimento aos diversos reservatórios

Usando o modelo de simulação torna-se possível avaliar a reacção do sistema face a eventuais alterações, por exemplo em virtude da modificação dos padrões das utilizações afectas a cada reservatório ou do regime de funcionamento duma válvula de controlo de caudal instalada numa dada adutora. Caso se pretenda saber qual é o caudal máximo que é possível disponibilizar ao reservatório de Ponte, sem que afecte os restantes reservatórios, então pode usar-se a ferramenta de simulação para a definição das novas regras de operação. Neste caso determinou-se os seguintes caudais à entrada de cada um dos reservatórios face às utilizações a satisfazer:

Reservatório	Caudal à entrada do reservatório (L/s)	Caudal médio cedido a cada rede (L/s)
Briteiros (Sto. Estevão)	3,8	3,0
Donim	2,2	2,1
Gondomar	31 (EE)	1,52
Prazins Santa Eufémia	3,8	3,20
Prazins Santo Tirso	2,51 (EE)	1,90
Souto – S. Salvador	4,8	1,9
Souto – Santa Maria	4,2	2,0
Ponte	13	12

Quadro 1 - Caudal máximo disponível para o Reservatório Ponte garantindo caudais à entrada dos restantes reservatórios

Na simulação, manteve-se o regime de funcionamento e o padrão semanal afecto às utilizações na rede, assim como a garantia do nível mínimo de 1,5 m no reservatório de Gondomar e de 1 m nos restantes reservatórios. A figura seguinte mostra a evolução da altura de água no reservatório volante do sistema para esse cenário.

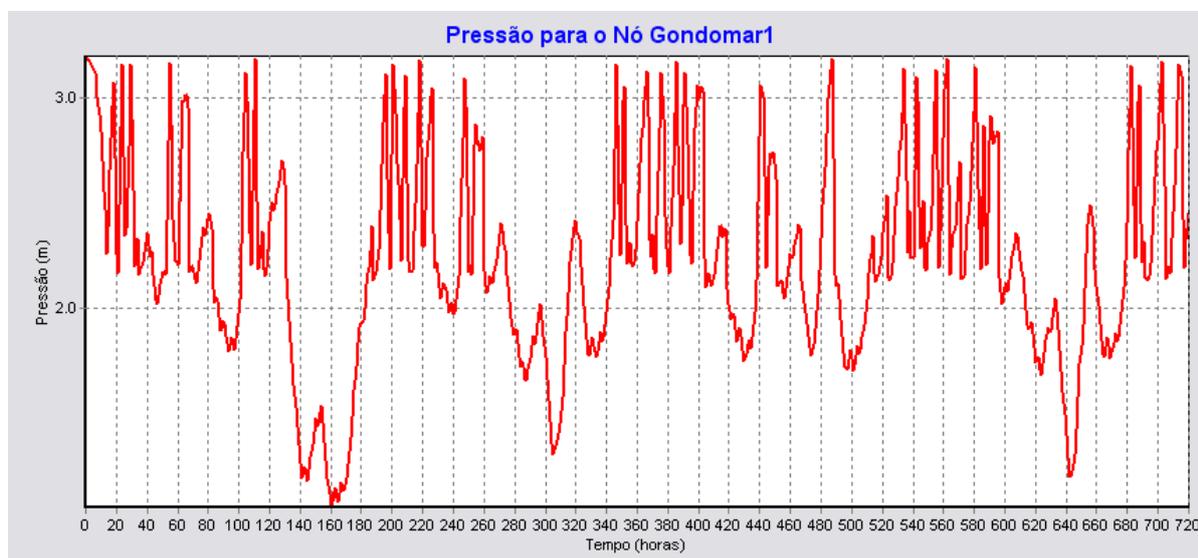


Figura 8 - Variação da altura da água no reservatório de Gondomar.

4.6- Gestão de situações de emergência

No caso de estudo em análise, o reservatório mais afastado da origem e que possui cota de implantação mais baixa, o reservatório de Ponte, é servido por uma adutora com elevada capacidade de transporte. O prolongamento desta adutora até ao reservatório de Ponte foi realizado para aumentar a segurança no abastecimento à área afectada ao reservatório, mas a adução far-se-á com controlo de caudal ou em situação de emergência. Em caso de necessidade poder-se-á abrir por completo a válvula instalada à entrada do reservatório de Ponte, no entanto este procedimento poderá inviabilizar temporariamente o abastecimento em adequadas condições a outros reservatórios do sistema. O modelo de simulação poderá ser usado para antecipadamente serem avaliados os eventuais problemas no abastecimento de água a alguns reservatórios em situação de emergência e serem implementadas medidas mitigadoras ou de aviso às populações.

4.7- Localização de postos de controlo da qualidade da água

O modelo de simulação permite-nos aferir qual o valor da concentração de cloro residual em qualquer ponto do sistema de abastecimento e das redes de distribuição, permitindo rapidamente definir quais as áreas com deficit de desinfectante e onde será aconselhável à instalação de postos de rechloragem, de forma a garantir o cloro residual mínimo recomendável. Na figura seguinte, encontra-se a representação gráfica da evolução do cloro residual em pontos de

ligação a alguns reservatórios do sistema de abastecimento. Face ao cenário de gestão simulado constata-se que o reservatório de Prazins Santa Eufémia deve merecer uma análise mais cuidada ao regime de funcionamento, designadamente através do controlo do volume aduzido ao reservatório, da altura dos interruptores de nível que determinam a altura máxima da água ou através da instalação de equipamentos para a injeção complementar de desinfectante.

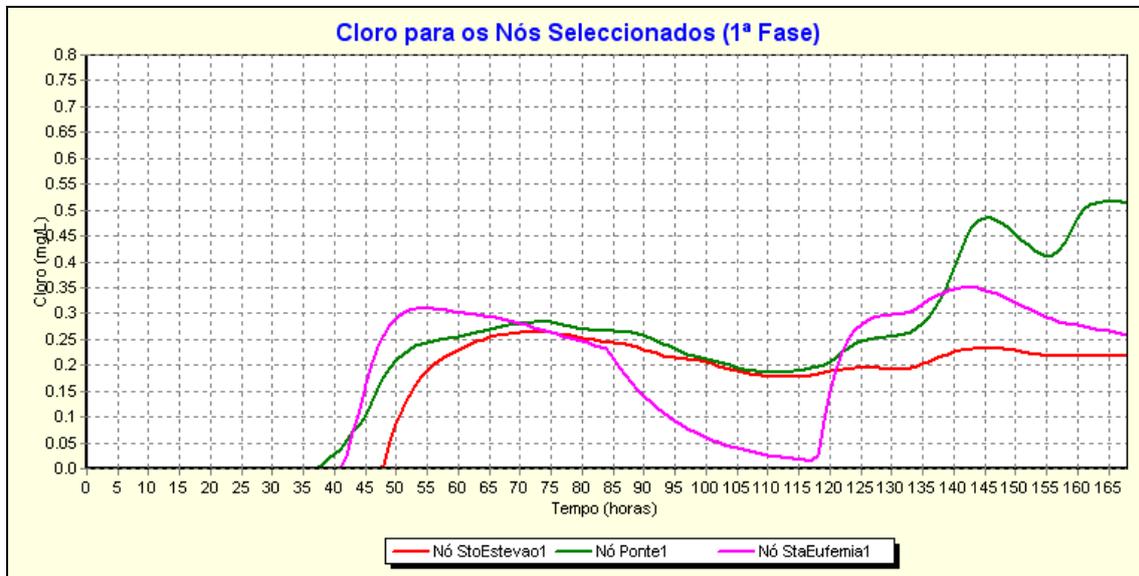


Figura 9 – Exemplo de cloro residual em alguns pontos do Sector de Gondomar

5 - CONCLUSÕES

As entidades gestoras dos sistemas de distribuição domiciliária de água são responsáveis pela qualidade do bem e do serviço que prestam. Além do cumprimento dos limites impostos pela legislação em vigor, têm igualmente de satisfazer as exigências crescentes dos utilizadores.

A utilização de um modelo de simulação revela-se uma opção incontornável, tanto para a correcta exploração dos sistemas, procurando garantir a satisfação das condições hidráulicas e de qualidade, como para o melhor planeamento das intervenções de manutenção, de reabilitação e de expansão.

A opção pela utilização do Epanet como modelo de simulação deveu-se sobretudo às inúmeras capacidades que o mesmo detém, além de ser um programa mundialmente reconhecido, testado e aplicado em diversos sistemas de abastecimento e distribuição de água.

Através da aplicação do Epanet ao Sistema de abastecimento de água ao Sector de Gondomar-Guimarães é possível seguir a evolução dinâmica do escoamento e as transformações de qualidade a que a água está sujeita no sistema.

A partir do modelo criado, facilmente se pode desenvolver diferentes cenários de exploração com diferentes condições de operação ao longo de diversos períodos de simulação, permitindo analisar a viabilidade de cada alternativa e melhor fundamentar a solução a seleccionar. Tais simulações são úteis na escolha de eventuais locais de instalação de pontos de controlo de qualidade e de reforço de desinfectante, na gestão de situações de emergências, na definição do melhor momento para a realização de operações para a reabilitação de condutas, etc.

O recurso a modelos de simulação hidráulica e de qualidade da água revela-se uma ferramenta valiosa e incontornável no planeamento e na gestão técnica de qualquer sistema de abastecimento.

BIBLIOGRAFIA

1. DIAS, M.C.B.F (2002), Modelação Matemática de Quantidade e Qualidade de Água em Sistemas de Abastecimento Público, Tese de Doutoramento Universidade do Minho;
2. Epanet 2.0P- Versão Portuguesa, LNEC;
3. FERREIRA DA SILVA, Júlio F, e Ricardo Vieira, “Aplicação de modelos de simulação hidráulica e de qualidade à gestão de sistemas de abastecimento de água”, 2.º ENEGM - Encontro Nacional de Engenharia e gestão Municipal, Porto, 21-22 Junho; 2005;
4. USEPA – United States Environmental Protection Agency. “EPANET Home Page”, <http://www.epa.gov/ORD/NRMLR/wswrd/epanet.html>;
5. VIEIRA, J.M.P., MORAIS, C. – “Planos de segurança da água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento”. IRAR e UM. Lisboa, Portugal, 2006;
6. VIEIRA, Paula A. (2002), Decaimento do cloro em sistemas de distribuição de água para consumo humano, Tese de Mestrado LNEC;
7. WHO - World Health Organization – “Water Safety Plans -*Managing drinking-water quality from catchment to consumer*”; 2005;
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsp0506/en/index.html;
8. SMEETS, P.W.M.H. - "Stochastic modelling of drinking water treatment in Quantitative Microbiological Risk Assessment", TU Delft, 2008;