

A GESTÃO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE COIMBRA

O Plano Geral de Abastecimento de Água e a Qualidade da Água

Rui D. PINA ⁽¹⁾; Sandra D. PEREIRA ⁽²⁾; Rita F. MORAIS ⁽³⁾; Alfeu SÁ MARQUES ⁽⁴⁾;
Marcelo N. GONÇALVES PEREIRA ⁽⁵⁾; Sandra C. TAVARES DE PINA ⁽⁶⁾

RESUMO

As normas de qualidade da água destinada ao consumo público estão definidas na legislação Europeia (Directiva nº 98/83/CE) e Portuguesa (DL 306/2007). De forma a cumprir estas obrigações a empresa Águas de Coimbra, E.E.M. (ACEEM), que é responsável pela gestão do sistema de abastecimento do município de Coimbra, Portugal, em baixa, tem implementado um Programa de Controlo da Qualidade da Água e um Plano de Controlo Operacional. No entanto, para fomentar a excelência do serviço prestado, a empresa está também a desenvolver o Plano Geral de Abastecimento de Água da cidade de Coimbra, que inclui a implementação de modelos de simulação da qualidade de água, em conjunto com modelos de simulação hidráulica, convenientemente calibrados. Estes modelos têm-se revelado importantes ferramentas para a gestão e operação do sistema, dadas as múltiplas aplicações que têm nos domínios do planeamento, projecto, operação, manutenção e reabilitação de sistemas.

A presente comunicação apresenta a perspectiva de abordagem geral da política de gestão e desenvolvimento dos sistemas de abastecimento de água da cidade de Coimbra, consubstanciada nos documentos que constituem o Plano Geral de Abastecimento de Água (PGAA). É apresentado um caso de estudo que evidencia a importância deste tipo de trabalhos para empresas como a ACEEM.

Palavras-Chave: sistemas de abastecimento de água, plano geral de abastecimento de água, modelação da qualidade da água.

ABSTRACT

Águas de Coimbra, E.E.M. (ACEEM) is the company that manages the water supply system in Coimbra, Portugal. It has been implementing a Water Quality Control Program and an Operational Control Plan according to Water quality standards for public water supply systems defined in EU legislation (Council Directive 98/83/EC) and also in Portuguese laws (DL 306/2007).

Besides this and to promote further service excellence, the company is also developing the Water Supply Master Plan, which includes implementation of hydraulic and water quality simulation models. These models are nowadays an important tool for management and operation of the system, improving the decision making process and expert advice on a day-to-day basis.

This paper presents the guidelines for the Water Supply Master Plan and general policy adopted for the management and improvement of the water supply system. A case study shows how water quality modelling helps a company such as ACEEM.

Keywords: water supply systems, water supply master plan, water quality modelling.

¹ Eng.º Civil, AC, Águas de Coimbra, E.E.M., Gabinete Técnico e de Inovação, Rua da Alegria nº 111, 3000 – 018 Coimbra, rui.pina@aguasdecoimbra.pt

² Eng.º Civil, AC, Águas de Coimbra, E.E.M., Gabinete Técnico e de Inovação, Rua da Alegria nº 111, 3000 – 018 Coimbra, sandra.pereira@aguasdecoimbra.pt

³ Eng.º Ambiente, AC, Águas de Coimbra, E.E.M., Departamento de Exploração e Manutenção de Sistemas, Rua da Alegria nº 111, 3000 – 018 Coimbra, rita.morais@aguasdecoimbra.pt

⁴ Doutor em Hidráulica, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Pólo II – Pinhal de Marrocos, 3030 – 290 Coimbra, jasm@dec.uc.pt (Consultor da AC, Águas de Coimbra, E.E.M.)

⁵ Presidente do Conselho de Administração, AC, Águas de Coimbra, E.E.M., Rua da Alegria nº 111, 3000 – 018 Coimbra, marcelo.nuno@aguasdecoimbra.pt

⁶ Administradora, AC, Águas de Coimbra, E.E.M., Rua da Alegria nº 111, 3000 – 018 Coimbra, sandra.pina@aguasdecoimbra.pt

INTRODUÇÃO

A empresa ACEEM é responsável pela distribuição de água aos munícipes de Coimbra e pelo saneamento de águas residuais do concelho (sistema em baixa), abrangendo uma área de 316.5 km² com 82 323 clientes, no ano de 2009. Da sua origem, transcrevem-se de seguida alguns excertos adaptados da recente obra “História do Abastecimento de Água a Coimbra”, da autoria do Professor Doutor José Amado Mendes (2007 e 2010).

A modernidade chegou aos lares de Coimbra há precisamente 120 anos, com o abastecimento de água ao domicílio. Até então, era necessário ir buscar o precioso líquido às fontes, às cisternas e aos poços e/ou ao Rio Mondego. O primeiro contrato de abastecimento de águas da cidade de Coimbra foi publicado no Diário do Governo a 9 de Agosto de 1882, mas provavelmente apenas na segunda quinzena de Maio de 1889, Coimbra vê chegar o extraordinário melhoramento, que é o abastecimento de água pelos métodos modernos. A questão do saneamento veio a ser objecto de concurso específico, aberto entre 20 de Dezembro de 1889 e 19 de Março de 1890.



Figura 1. Antiga Estação de Captação de Água da cidade de Coimbra reconvertida num espaço museológico sob gestão da ACEEM – o Museu da Água de Coimbra.

Desde os seus inícios, o abastecimento de água a Coimbra foi assegurado pela gestão municipal. Posteriormente, no início do século XX teve lugar a municipalização dos serviços e foram criados os Serviços Municipalizados de Coimbra que vieram a administrar a distribuição de água, transportes e electricidade. Mais tarde, em 1985, a gestão dos Serviços sofreu profundas alterações, paralelamente com a modernização tecnológica, nomeadamente através de uma maior especialização. Com efeito, foram então constituídas duas áreas, no âmbito da gestão municipal: por um lado, os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento; por outro, os Serviços Municipalizados dos Transportes Urbanos de Coimbra. Além do crescimento demográfico e socioeconómico da cidade, também um número cada vez mais elevado de povoações rurais esperava ansiosamente pelos benefícios do moderno abastecimento de água e saneamento. Consequentemente, a ampliação, especialização e desenvolvimento daqueles serviços foram essenciais para dar resposta às novas exigências e necessidades, sentidas de um modo mais consciente e profundo no pós-25 de Abril de 1974.

Face aos desafios cada vez mais ousados e de maior exigência – em termos de quantidade e de qualidade da água e da própria legislação, comunitária e nacional, mais rigorosa e específica –, em 24 de Maio de 2003, os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Coimbra transformaram-se na Empresa Municipal, denominada AC, Águas de Coimbra, E.E.M.

Ultimamente, a Empresa tem pautado a sua acção por uma aposta constante e continuada na modernização e melhoria da qualidade dos respectivos serviços. É neste âmbito que surge o Plano Geral de Abastecimento de Água (PGAA) e o Plano Geral de Drenagem (PGD). Após um investimento na melhoria do sistema de informação cadastral, o PGD e o PGAA começaram a ser elaborados, sendo actualmente importantes ferramentas de gestão das infra-estruturas, permitindo o conhecimento do funcionamento das redes e previsão de intervenções futuras, de um modo planeado e com estratégia bem delineada.

O PGD pretende responder aos desafios que se verificaram recentemente na gestão dos sistemas de drenagem. O crescente desenvolvimento urbano dos últimos anos levou à alteração dos sistemas de drenagem e ao aumento das áreas impermeáveis, traduzindo-se em desafios para a gestão e desenvolvimento das infra-estruturas de drenagem. O principal objectivo do PGD é a garantia de um sistema de drenagem sustentável, por integração das águas pluviais em ambientes urbanos e a sua gestão ao longo do percurso, com reutilização e recriação de ambientes naturais, levando, naturalmente, a uma melhor gestão do ciclo da água dentro das cidades, onde tende a ser restabelecido o seu ciclo natural.

O PGAA visa aumentar a excelência do serviço prestado aos clientes da empresa, através da análise rigorosa do sistema de abastecimento. O objectivo é garantir o melhor desempenho do sistema existente, garantindo a sua capacidade de resposta face a alterações futuras e assegurar o fornecimento de água com qualidade. A elevada complexidade do sistema existente e a necessidade de atingir níveis de serviço cada

vez mais exigentes implica o recurso a softwares especializados, bem como o domínio de técnicas de modelação de sistemas de distribuição de água. Para além dos benefícios directos associados a esta análise dos sistemas e ao apoio à tomada de decisão, o desenvolvimento e utilização de modelos de simulação potenciam melhorias na qualidade geral da informação disponível sobre os sistemas, no conhecimento da infra-estrutura, e na articulação dos diversos sectores técnicos da entidade gestora.

A presente comunicação centra-se nos recentes desenvolvimentos possibilitados pelo PGAA. No seguimento dos trabalhos, os modelos de simulação hidráulica implementados estão agora a ser melhorados através da integração da modelação da qualidade da água. Apresenta-se um caso de estudo que evidencia a importância destes trabalhos para a empresa.

PLANO GERAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O Plano Geral de Abastecimento de Água é baseado numa caracterização rigorosa do sistema de abastecimento e análise do seu comportamento através da modelação hidráulica. Os trabalhos iniciam-se com a interpretação e verificação dos dados de cadastro, e numa análise preliminar efectua-se o cruzamento destes dados com os relatórios da exploração dos sistemas. É feita uma caracterização com base no índice de roturas global na rede, que constitui o principal indicador de avaliação do grau de obsolescência da rede de distribuição, e permite antever intervenções necessárias. Posteriormente é efectuada a simulação hidráulica do sistema, com calibração e validação do modelo, para avaliação detalhada do funcionamento de todo o sistema de abastecimento e análise de cenários que possibilitam a idealização de propostas de intervenção.

Desta forma, torna-se possível a rápida e eficaz realização de análises de sensibilidade e a simulação dos cenários mais variados, com suficiente aproximação, sem ser necessário interferir com o sistema em causa ou arriscá-lo a condições operacionais potencialmente prejudiciais.

O processo de modelação contempla várias etapas até à obtenção de um modelo para sua exploração através do ensaio dos mais diversos cenários. Este processo pode resumir-se do seguinte modo:

1. Planeamento do modelo;
2. Descrição da infra-estrutura física;
3. Quantificação e caracterização dos consumos;
4. Configuração das condições operacionais do sistema;
5. Calibração e validação do modelo;
6. Exploração do modelo.

O Plano Geral de Abastecimento de Água começou a ser elaborado em 2008 e quando for concluído será composto por treze documentos, um por cada sistema de abastecimento de água, abrangendo as 52 zonas de medição e controlo actuais. Até à presente data foram elaborados sete documentos, que abrangem o estudo de 50% da rede de distribuição de água e cerca de 65% da população do município (Figura 2).

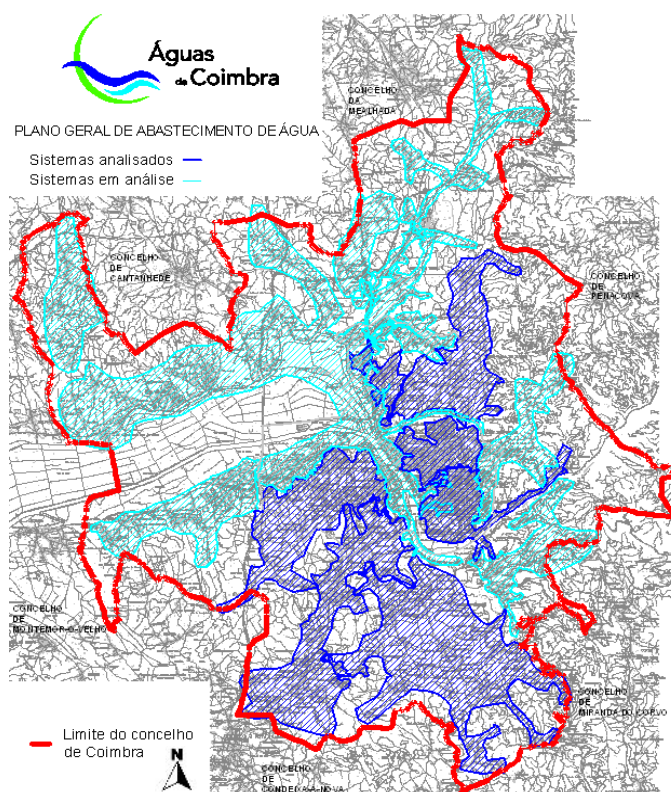


Figura 2. Estado do desenvolvimento dos trabalhos do PGAA.

CASO DE ESTUDO

O caso de estudo apresentado refere-se ao Sistema de Abastecimento de Água de Pinhal de Marrocos (SAAPM), cuja localização é apresentada na Figura 3.

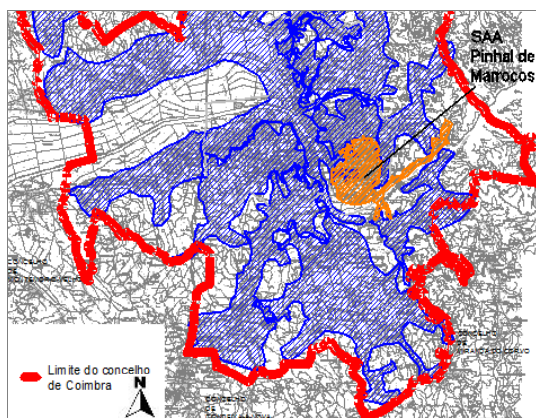


Figura 3. Localização do caso de estudo.

O SAAPM é abastecido pelo reservatório de Pinhal de Marrocos I e abrange a área de Torres de Mondego e Casal da Misarela, onde foram verificadas baixas concentrações de cloro na água. Esta área desenvolve-se “em linha” ao longo da Estrada Nacional nº 110 (EN110), com uma rede de condutas de aproximadamente 13.7 km e reservatórios intermédios e de extremidade.

A análise baseou-se na modelação e comparação com medições reais. Com recurso ao software Mike Urban, que tem o motor de cálculo do EPANET 2.0 e é desenvolvido pela Danish Hydraulic Institute (DHI), o modelo de simulação já implementado foi complementado com a integração dos consumos reais da rede, com a incorporação das alterações efectuadas no sistema e detalhe de zonas outrora simplificadas, e foi calibrado e validado com base em colheitas de água com vista à quantificação dos teores de cloro na rede e em medições reais da telegestão e de loggers de pressão.

Constituição do modelo de simulação

O modelo de simulação implementado é representado esquematicamente na Figura 4 e é constituído pelos seguintes elementos:

Comprimento total da rede de condutas	90.7 km
Número total de nós (un.)	894
Número total de troços (un.)	1015
Reservatório (un.)	8
Consumidores (un.)	15 335

Quadro 1. Constituição do modelo de simulação do SAAPM.

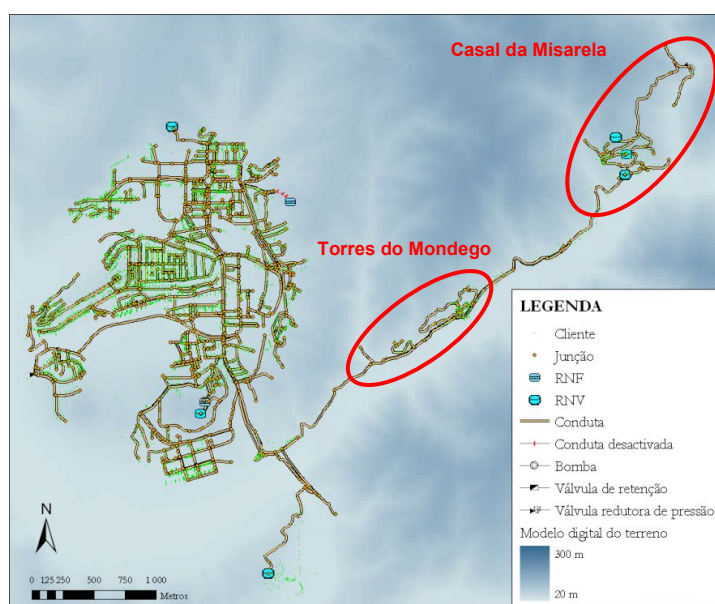


Figura 4. Esquema do modelo de simulação implementado para o SAAPM.

Elementos de base

Foram considerados os seguintes elementos de base:

- i. Cadastro do sistema de abastecimento: informações do cadastro da AC, Águas de Coimbra, E.E.M. e todos os projectos já executados.
- ii. Consumos de água: consumos facturados pela AC, Águas de Coimbra, E.E.M. em 2010, distribuídos segundo a localização dos contadores.
- iii. Equação caracterizadora do decaimento do cloro: lei cinética de primeira ordem dependente da constante de reacção da parede das tubagens e da constante de reacção no seio do escoamento. As reacções nos reservatórios foram consideradas misturas completas e o coeficiente de reacção no seio do escoamento (k_b) foi determinado com base nos resultados de ensaios laboratoriais realizados no âmbito da Tese de Mestrado Godinho Antunes (2008):

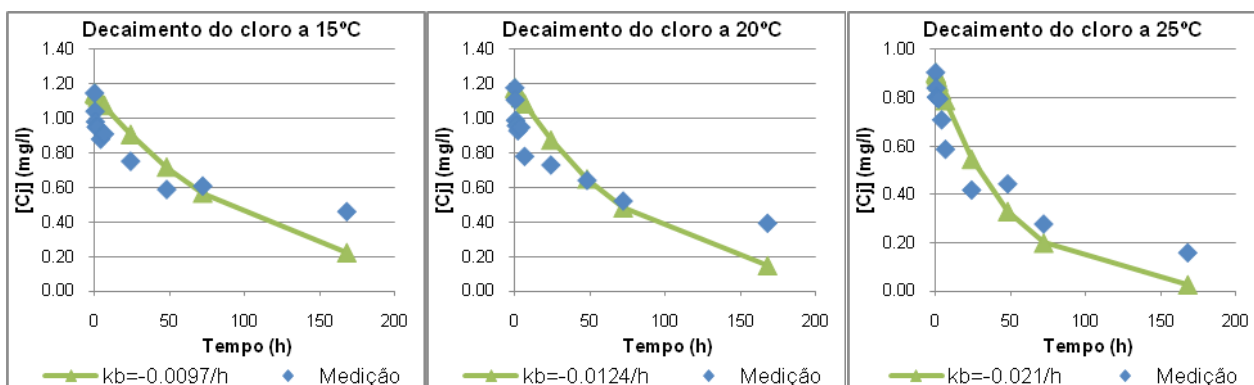


Figura 5. Constantes de reacção no fluido (k_b).

- iv. Características das condutas:

Material da conduta	Rugosidade absoluta (mm)	Constante de reacção de parede (m/dia)
Plásticos (PVC e PEAD)	0.01	-0.01
Ferro Fundido Dúctil (FFD)	0.25	-0.02

Quadro 2. Características das condutas do SAAPM.

As constantes de reacção da parede foram calibradas de acordo com as medições reais no sistema e comparados com valores adoptados em trabalhos semelhantes (p.e. Rossman et. al. (1994) e Jonkergouw et. al. (2008)).

- v. Diagrama de consumo médio, obtido através da análise dos caudais à saída do reservatório de Pinhal de Marrocos I para a rede de distribuição (inclui fugas e perdas de água), e diagrama de consumo para grandes consumidores:

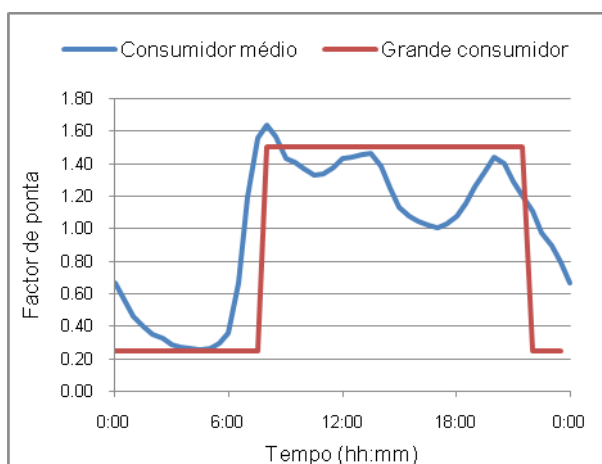


Figura 6. Diagrama de consumo do SAAPM.

Calibração e validação do modelo de simulação

A calibração e validação do modelo de simulação incidiu essencialmente sobre a área de Torres de Mondego e Casal da Misarela, e foi efectuada com dados da telegestão, medições e colheitas de água com vista à quantificação dos teores de cloro.

Telegestão

Os resultados da modelação revelam boa concordância com os dados da telegestão. Os caudais à saída do reservatório de Pinhal de Marrocos I, apresentados na Figura 7, revelam a conformidade da globalidade do modelo, e os dados do extremo da rede, como o nível de água e o caudal elevado para o reservatório Casal da Misarela II (Figura 8 e Figura 9), validam a modelação da área onde se pretende aprofundar os estudos.

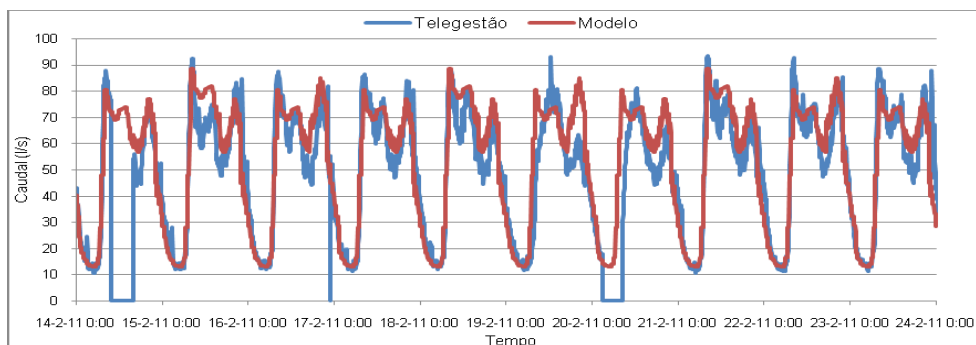


Figura 7. Caudal à saída do reservatório de Pinhal de Marrocos I.

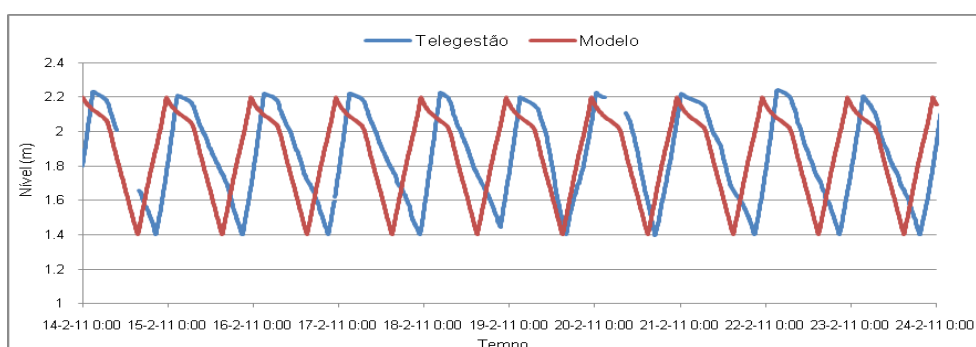


Figura 8. Nível de água no reservatório Casal da Misarela II.

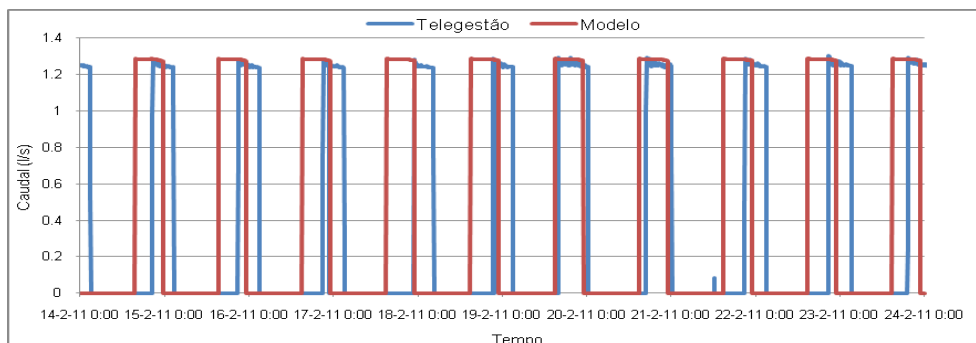


Figura 9. Caudal elevado do reservatório Casal da Misarela I para o Casal da Misarela II.

Colheitas de água com vista à quantificação dos teores de cloro

Estas colheitas foram efectuadas entre os dias 14 e 23 de Fevereiro de 2011. Conforme apresentado no Quadro 3, os resultados do modelo de simulação estão de acordo com as medições reais. Foi admitida uma concentração de cloro residual no reservatório de Pinhal de Marrocos I de 0.8 mg/l, em consonância com os dados fornecidos pela empresa Águas de Mondego, SA.

	Rotunda Portela	Ventosa na EN110	Rua da Marginal Mondego	Reservatório Casal Misarela I	C.P.C	Reservatório Casal Misarela II
Média dos resultados do modelo	0.59	0.55	0.47	0.33	0.24	0.18
Média das colheitas	0.67	0.60	0.50	0.33	0.15	0.23
Diferença (Modelo – Real)	-0.08	-0.05	-0.03	0.00	0.09	-0.05

Quadro 3. Comparação entre os resultados de concentração de cloro residual (mg/l) medidos nas colheitas e os simulados, com concentração de cloro residual de 0.8 mg/l na origem.

Os valores mais baixos de concentração de cloro são verificados no reservatório Casal da Misarela II, que é o reservatório de extremidade da rede. A conduta que o abastece, com funções de adutora elevatória e

gravítica, fornece também a Câmara de Perda de Carga (C.P.C.) do Casal da Misarela, pelo que a concentração de cloro na C.P.C. varia substancialmente consoante os regimes de funcionamento da adutora.

Exploração do modelo e análise de resultados

Apresentam-se no Quadro 4 os resultados médios das simulações efectuadas para diferentes concentrações no reservatório de Pinhal de Marrocos I e no Quadro 5 os resultados considerando aumento da temperatura da água, traduzida no coeficiente de reacção do cloro.

Reservatório do Pinhal de Marrocos	BI na Rotunda Portela	Ventosa na EN110	BI na Rua da Marginal Mondego	Reservatório Casal Misarela I	C.P.C	Reservatório Casal Misarela II
0.9	0.66	0.62	0.53	0.37	0.27	0.20
0.8	0.59	0.55	0.47	0.33	0.24	0.18
0.6	0.44	0.41	0.35	0.25	0.18	0.13

Quadro 4. Resultados médios previstos com a variação da concentração de cloro residual no reservatório de Pinhal de Marrocos I e $k_b = -0.3$ mg/dia.

Reservatório do Pinhal de Marrocos	BI na Rotunda Portela	Ventosa na EN110	BI na Rua da Marginal Mondego	Reservatório Casal Misarela I	C.P.C	Reservatório Casal Misarela II
0.6	0.42	0.38	0.32	0.21	0.14	0.10

Quadro 5. Resultados médios previstos considerando abaixamento da concentração de cloro residual no reservatório de Pinhal de Marrocos e $k_b = -0.4$ mg/dia.

Os resultados de simulação com uma concentração de cloro residual na origem de 0.6 mg/l e $k_b = -0.3$ mg/dia são apresentados para todo o sistema na Figura 10, com indicação dos locais onde foram efectuadas colheitas.

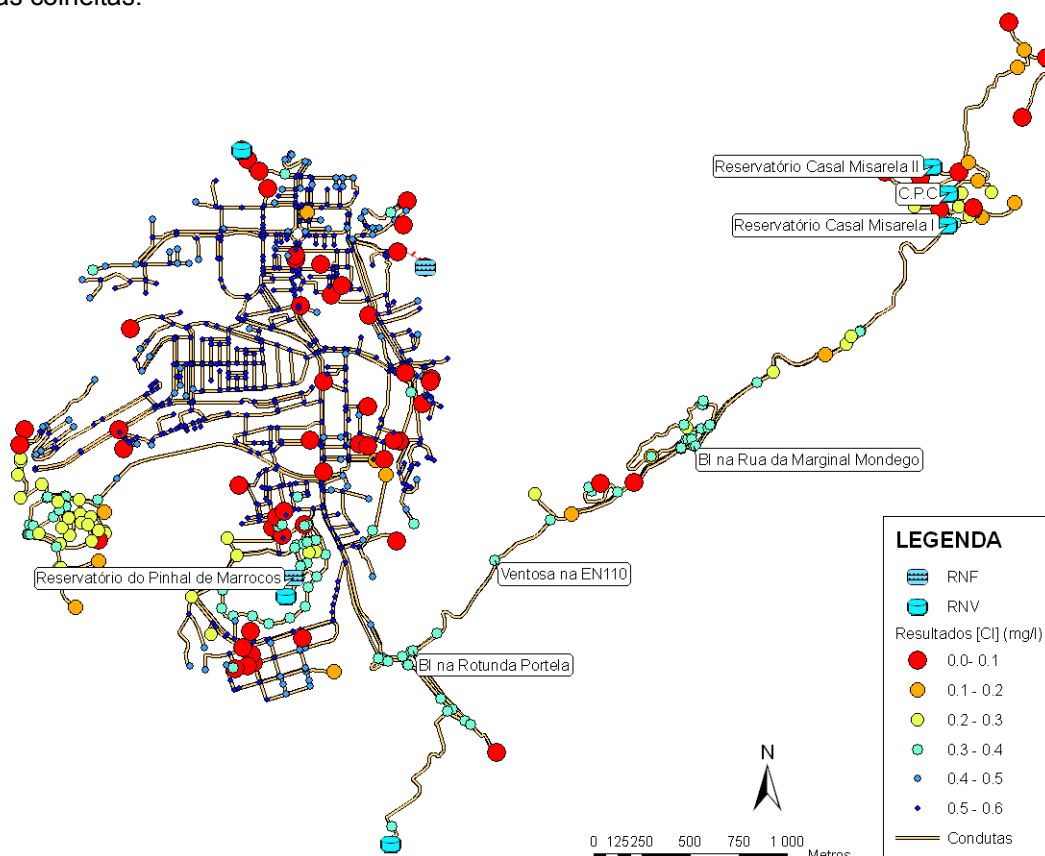


Figura 10. Resultados da modelação ao final de 10 dias de simulação, com uma concentração de 0.6 mg/l de cloro no reservatório de Pinhal de Marrocos I e $k_b = -0.3$ mg/dia.

Face aos resultados apresentados, prevêem-se concentrações aceitáveis na generalidade da rede, apesar de se verificar maior decaimento de cloro entre Torres do Mondego e Casal da Misarela, nós de extremidade e nos troços com menores consumos. É de esperar baixas concentrações em Casal da Misarela II, que podem justificar a implantação de uma estação de re-cloragem, nomeadamente no caso de

diminuição da concentração de cloro na origem e aumento de temperatura da água. Para clarificar esta situação foi agendada nova campanha de medição de cloro residual na rede em condições que propiciem maiores decaimentos, nomeadamente quando a temperatura da água for superior, situação típica da altura do Verão. Com base nesta campanha será efectuada nova análise, semelhante à apresentada, que permitirá aferir os resultados obtidos e, caso se revele necessário, auxiliará a tomada de decisão para a adopção de medidas que visem a melhoria da qualidade de serviço prestado aos clientes da ACEEM.

CONCLUSÃO

A empresa ACEEM é responsável pelos sistemas “em baixa” de abastecimento de água e de drenagem urbana da cidade de Coimbra. Em toda a sua história, o desenvolvimento da empresa foi caracterizado pela excelência de um serviço público, que está intimamente relacionado com questões de saúde pública e de qualidade de vida da população. Neste sentido, a constituição da ACEEM foi mais um passo importante para a modernização tecnológica da empresa, munindo-a de importantes ferramentas e alavancando novos projectos, de que é exemplo o estudo apresentado na presente comunicação.

Dada a complexidade do abastecimento de água e da drenagem, o recurso a modelos de simulação hidráulica é imprescindível para a análise e gestão destas infra-estruturas. A calibração e validação dos modelos são aspectos fundamentais, mas extremamente morosos e complexos. Por um lado, a validação de alguns dados de cadastro e da topografia do local implicam, por vezes, inspecções no terreno. Por outro, a validação e calibração de resultados é um aspecto extremamente importante e complexo, que deve ter em conta as limitações do próprio modelo de cálculo. Em todo o caso, as ferramentas de modelação matemática permitem a análise de situações concretas pela simulação, antecipando cenários, e fornecem informações muito relevantes para fundamentar a decisão, evitando erros de planeamento, com eventual desperdício de recursos financeiros e humanos, e melhoram também a gestão operacional da empresa, promovendo a satisfação dos clientes.

O caso de estudo apresentado evidencia a importância dos trabalhos de modelação hidráulica numa entidade gestora de sistemas de abastecimento de água. Através da simulação hidráulica do SAAPM foi possível conhecer melhor o funcionamento de toda a rede e perspectivar diferentes cenários de exploração, bem como idealizar soluções para aumentar a excelência do serviço prestado pela empresa. Um aspecto extremamente importante é a continuidade destes trabalhos, de modo a que os modelos de simulação traduzam resultados fiáveis para que possam ser usados como ferramentas de apoio à gestão e exploração dos sistemas. O modelo de simulação implementado no presente caso de estudo baseou-se na actualização e no complementar de um modelo já implementado e, para confirmação dos resultados obtidos, foi agendada nova análise para situações mais desfavoráveis, garantindo assim a continuidade dos trabalhos.

Tal como o trabalho apresentado, a ACEEM tem em curso um conjunto de projectos e iniciativas capazes de adequar a empresa para responder aos desafios de modernização do sector, aumentando da eficácia e eficiência na sua actuação. Além do aumento da qualidade do serviço prestado, estes trabalhos resultaram na obtenção da primeira posição no Índice Nacional de Satisfação do Cliente (*European Customer Satisfaction Index – ECSI Portugal*) em 2009, e na atribuição do Prémio de Qualidade de Serviço de Abastecimento Público de Água prestado aos utilizadores atribuído pela Entidade Reguladora de Serviços de Água e Resíduos de Portugal em 2010.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amado Mendes, J. (2007). História do Abastecimento de Água a Coimbra – Volume 1. AC, Águas de Coimbra, E.E.M.

Amado Mendes, J. (2010). História do Abastecimento de Água a Coimbra – Volume 2. AC, Águas de Coimbra, E.E.M.

Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto de 2007. Diário da República n.º 164/2007 – 1.ª série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa, Portugal.

Directiva n.º 98/83/CE do Conselho da União Europeia, de 3 de Novembro de 1998.

Godinho Antunes, J. (2008) Decaimento de cloro em sistemas de distribuição de água. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente – FCTUC.

Jonkergouw, P. M. R., Khu, S. T., Kapelan, Z. S., Savic, D. A. (2008) Water Quality Model Calibration under Unknown Demands. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 134, No. 4, pp. 326-336.

Rossman, A., Clarck, R. M., Grayman, W. M. (1994) Modeling Chlorine Residuals in Drinking-Water Distribution Systems. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 120, No. 4, pp. 803-820.