

# GESTÃO E OPTIMIZAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Pedro GALVÃO<sup>1</sup>, Adélio SILVA<sup>2</sup>, Paulo LEITÃO<sup>3</sup>, Pedro PINA<sup>4</sup> e Nivaldo RODRIGUES<sup>5</sup>

## RESUMO

A gestão eficiente da informação e a capacidade de antecipar problemas ou planejar operações de forma eficiente constituem pontos críticos para as empresas tanto por causa de uma mais exigente regulamentação jurídica ambiental como também como por causa da necessidade de aumento da eficiência da exploração dos sistemas e incremento da segurança e informação ao consumidor e ao público em geral.

A plataforma AQUASAFE tem por objectivo tornar mais eficiente a gestão de operações potenciando a utilização de informação em tempo real e a sua perfeita integração com ferramentas de previsão e diagnóstico. De acordo com os conceitos implementados na plataforma AQUASAFE essa integração é feita gerindo de uma maneira uniforme os dados medidos (sensores, detecção remota) e os dados modelados (por exemplo, distribuição de água, águas residuais, meio receptor, meteorologia, etc.).

A utilização prática de alguns destes conceitos foi testada em duas situações. Em primeiro lugar, um sistema real: o subsistema de Itaquera, da responsabilidade da Divisão de Operação de Água Leste da Sabesp. Trata-se de um sistema "em baixa" e o principal objectivo a atingir foi a demonstração da aplicação do Aquasafe a um sistema complexo integrando um modelo hidráulico existente com informação *Scada* tendo sido analisados cenários de operação de bombagem e qualidade da água. Em segundo lugar um sistema fictício constituído por 3 estações de bombagem e respectivos tanques ligados em série, mas tendo por base condições de fronteiras reais (consumos, características de bombagem e rede) que permitissem incorporar a variabilidade característica de um sistema de abastecimento em alta.

O presente trabalho reporta alguns dos resultados obtidos a partir da experiência adquirida nesta implementação da plataforma AQUASAFE.

**Palavras-chave:** abastecimento, água, modelos, consumos, gestão energética

1 Eng. Ambiente. Hidromod, Lda. [pedro.galvao@hidromod.com](mailto:pedro.galvao@hidromod.com)

2 Eng. Civil. Hidromod, Lda. [adelio@hidromod.com](mailto:adelio@hidromod.com)

3 Eng. Civil. Hidromod, Lda. [paulo.chambel@hidromod.com](mailto:paulo.chambel@hidromod.com)

4 Eng. Ambiente. Bentley Systems. [pedro.pina@bentley.com](mailto:pedro.pina@bentley.com)

5 Eng. Civil. Sabesp, [nivaldorodrigues@sabesp.com.br](mailto:nivaldorodrigues@sabesp.com.br)

## 1 INTRODUÇÃO

A plataforma AQUASAFE tem por objectivo potenciar a utilização de informação em tempo real e a sua integração com ferramentas de previsão e diagnóstico. O AQUASAFE funcionando como elemento integrador modelos, fontes externas de dados, dados provenientes de sistemas *scada* e da recolha de amostras, permite nomeadamente:

- ✚ Disponibilizar resultados da modelação em tempo real através da integração de sistemas *scada* ou outra fonte de dados externa com os modelos sem intervenção humana;
- ✚ Antecipar situações problemáticas através da criação de alarmes personalizados que combinam a informação de várias fontes de dados (reais ou modelados);
- ✚ Lançar processos automáticos de simulação de cenários para avaliar opções de gestão em tempo real;
- ✚ Detectar a ocorrência de roturas;
- ✚ Gerar relatórios automatizados dos resultados da modelação e/ou das medidas com base em templates pré-definidos pelo utilizador;
- ✚ Utilizar de forma prática os resultados da modelação na sala de operação tirando partido do *know-how* dos operadores já existentes;

Para além disto, o AQUASAFE permite também oferecer soluções sob medida sendo compatível (ou facilmente adaptável) com a utilização de diferentes modelos (redes de distribuição de água e saneamento, *run-off*, meteorologia, ondas, etc.) e bases de dados. Inclui rotinas baseadas no protocolo OPC para “falar” directamente com os sistemas *scada* e inclui a possibilidade de customizar as interfaces de acordo com os perfis de diferentes utilizadores.

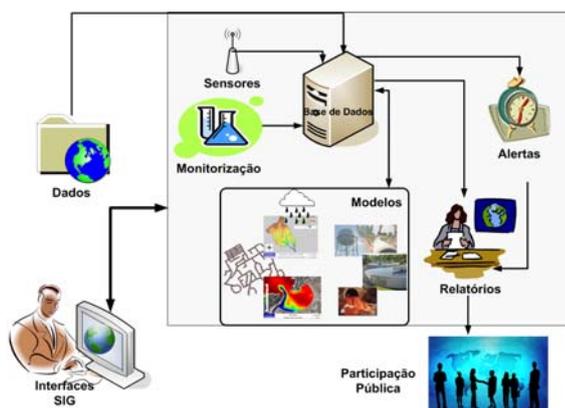


Figura 1 – Arquitectura geral.

## 2 PROCESSAMENTO EM TEMPO REAL

Actualmente é comum a disponibilidade de grandes quantidades de dados adquiridas em tempo real por sistemas de telemetria e outros sensores. Para estes dados se transformarem em informação útil é necessário tratar, organizar e reportar.

A plataforma AQUASAFE está especialmente vocacionada para estas tarefa através da possibilidade da configuração de processamentos e modos de pesquisa dinâmicos adequados a cada tipo de problema: perdas, qualidade da água, energia, etc. Por exemplo é possível estabelecer cálculos integrados de caudais ou análise de variação estatística de pressões sobre períodos pré estabelecidos e procurar de forma automática e continua no tempo discrepâncias que indiquem situações anómalas como fugas, ou operações não planeadas.

Também é possível por exemplo integrar toda a informação recolhida no âmbito de campanhas de monitorização de qualidade da água e reportar essa informação com base em parâmetros ou geometria do sistema ou procurar relações com outras variáveis do sistema (pressão, caudal, velocidade). A plataforma permite criar ecrãs com dados em tempo real (tipo *dashbora*) que sintetizem a informação obtida a partir dos sensores inteligentes da rede ou resultam da integração deste tipo de dados com resultados de modelação matemática.

As ferramentas de modelação podem dar um contributo muito relevante na fase de avaliação do sistema mas é na componente de monitorização operacional que todo o seu potencial pode ser posto à prova. Um modelo funcional e calibrado equivale a ter uma rede de sensores “virtuais” em qualquer ponto da rede, permitindo não apenas analisar o que se passou mas também prever o futuro.

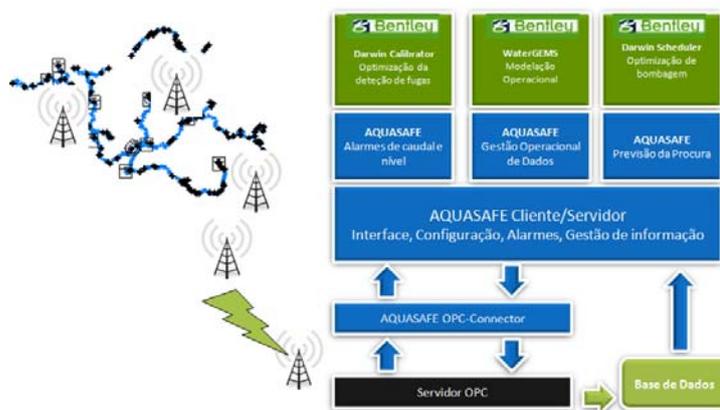


Figura 2 – Exemplo de integração do AQUASAFE dos resultados dos modelos de rede e dos dados de telemetria

A disponibilidade de uma estrutura que permita gerir todos os fluxos de informação necessários para obter uma resposta adequada no contexto da gestão de problemas típicos em sistemas de distribuição de água como gestão pressão, perdas, energia ou qualidade da água constitui uma mais-valia significativa.

Por outro lado, tendo em consideração que diferentes operadores apresentam normalmente diferentes níveis tecnológicos, capacidade técnica e problemas específicos para que uma estrutura deste tipo possa ter sucesso e ser realmente útil deverá ser capaz de disponibilizar soluções sob

medida capazes de utilizar a infra-estrutura já a ser operada pelo cliente (base de dados, sensores e estrutura do modelo numérico, etc.) e interfaces personalizadas de acordo com os perfis de diferentes utilizadores. Esta é uma das características base do sistema AQUASAFE.

### 3 APLICAÇÕES DO SISTEMA

O AQUASAFE tem múltiplas aplicações (em todo o tipo de sistemas que necessitem gerir dados para produzir informação) estando actualmente a ser utilizado para dar suporte à gestão e operação de redes de saneamento e distribuição de água, para suportar um sistema de alerta de condições críticas na tomada de água da central termoeléctrica de Sines e para integrar dados meteo-oceanográficos e de modelos de previsão para suportar operações portuárias.

Para além destas aplicações, o consórcio responsável pelo desenvolvimento da plataforma AQUASAFE já detinha uma experiência relevante nesta área que se pode comprovar no sistema proprietário que foi desenvolvido para a CLABSA (Águas de Barcelona) para integração dos resultados do modelo de rede de saneamento (baseado no modelo MOUSE), da rede de telemetria (medição em tempo real de caudais na rede), dos dados de precipitação e dos modelos da costa (correntes, ondas e dispersão de efluentes) para produzir previsões de qualidade de água nas praias. O sistema funciona em tempo real, produzindo previsões a cada 20 minutos, e tem capacidade de emitir alertas automáticos para situações de risco seguindo regras definidas pela operação (*cf. Figura 3*).

Este sistema está em operação contínua há três anos em Barcelona, tendo posteriormente sido implementado noutros locais, como é o caso de Biarritz, e tem revelado uma grande robustez. Embora esta aplicação não se possa confundir com o AQUASAFE por ter sido desenvolvida para responder a requisitos específicos e de acordo com especificações definidas pelo cliente, o *know-how* aí conseguido e o incremento da percepção dos problemas associados à exploração deste tipo de sistemas ajudaram a sedimentar os requisitos que estiveram na base de desenvolvimento do AQUASAFE.

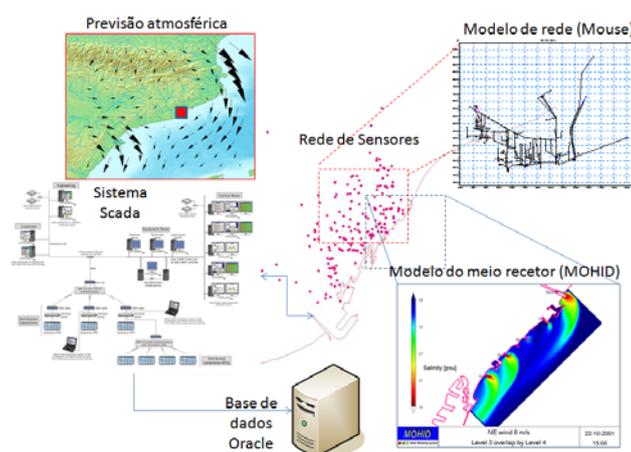


Figura 3 – Esquema geral do sistema COWAMA implementado em Barcelona

As implementações que a seguir se apresentam efectuadas no sistema de distribuição de água em baixa de Itaquera e no sistema de adução de água em alta do Baixo Cávado e Ave são o exemplo da versatilidade da plataforma.

### 3.1 O Sistema de Itaquera

O sistema de Itaquera está incluído na Divisão de Operação de Água Leste de S. Paulo (Sabesp) e foi seleccionado para uma implementação piloto por ser um dos mais avançados da rede de distribuição de água de S. Paulo em termos de modelação e equipamentos de medida. Esta rede compreende cerca de 500 km de tubagens com diâmetros entre os 50 mm e os 120 mm. A rede encontra-se dividida em 4 zonas de medição e controlo (ZMC) que cobrem cerca de 150 km cada (o objectivo é vir a ter 15 no futuro próximo) e para as quais existe informação em tempo real (cf. Figura 4). Os objectivos de implementação da plataforma AQUASAFE centravam-se no suporte à gestão operacional da rede e à análise energética

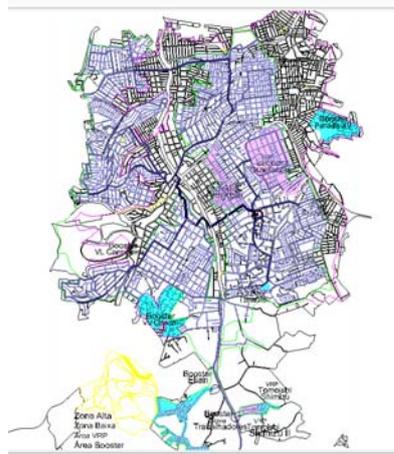


Figura 4 – Esquema geral da rede de Itaquera

Um aspecto de grande relevância para a exploração do sistema é a verificação do correcto funcionamento das bombas. Neste caso os dados adquiridos pelos sensores de caudal colocados à saída das estações de bombagem são comparados em tempo real com as curvas teóricas das bombas permitindo detectar atempadamente eventuais perdas de eficiência do sistema ou desvios da situação esperada (cf. Figura 5). Trata-se de uma análise de grande utilidade para as entidades gestoras pois muitas vezes a eficiência real verificada pode levar a conclusões que no limite justificam uma substituição dos equipamentos.

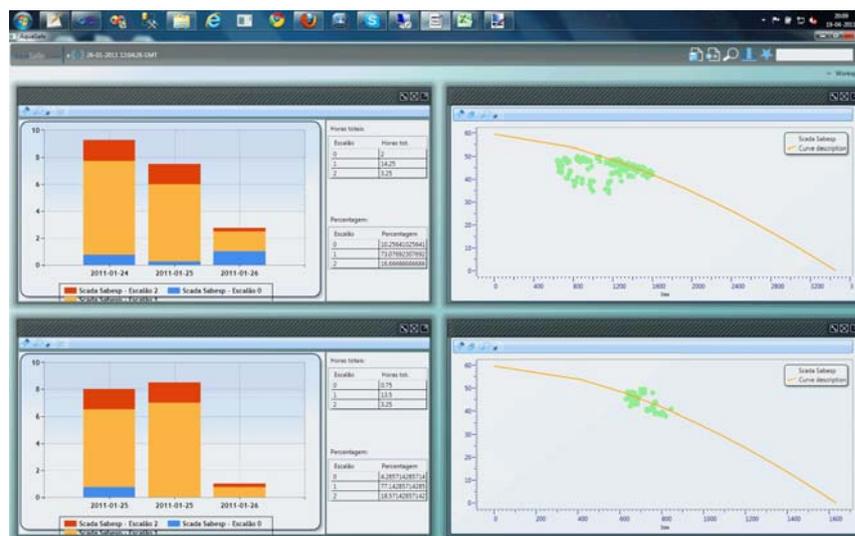
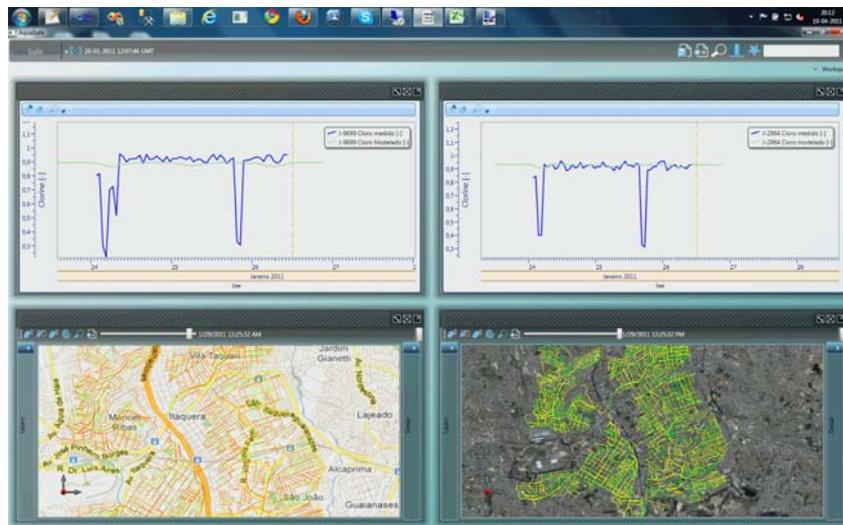


Figura 5 – Avaliação da eficiência de bombagem. Aplicação ao sistema de Itaquera (Sabesp).

Com base no sistema existente foram também simuladas situações de emergência de qualidade da água reproduzindo por exemplo uma situação de interrupção de funcionamento das estações de desinfecção por falha de energia. Através da comparação entre os dados simulados e os dados medidos (neste caso fictícios) é possível criar alertas que identificam as zonas críticas no sistema.



**Figura 6** – Simulação de uma emergência de qualidade da água causada por falha de energia nas estações de desinfecção. Os gráficos mostram a comparação entre dados medidos (azul) e simulados (verde) os mapas mostram as zonas críticas (valores integrados e variáveis no tempo) com concentração abaixo de 0.2 mg/l.

### 3.2 Análise de eficiência energética

Tendo por objectivo disponibilizar abordagens para incrementar a eficiência energética dos sistemas, foi desenvolvida uma aplicação da ferramenta Aquasafe para a optimização dos ciclos de bombagem em função de uma análise detalhada dos padrões de consumo e da eficiência do funcionamento das bombas como o objectivo de minimizar consumos de energia ou custos. Esta aplicação tira partido das potencialidades da ferramenta *Darwin Scheduler* integrado no modelo hidráulico *Bentley WaterGems*.

O valor acrescentado da ferramenta é poder converter este tipo de aplicação numa ferramenta em tempo real, que consome dados vindos por exemplo de sistemas *Scada* e produz cenários de optimização que são posteriormente transmitidos ao centro de operações.

Nesta perspectiva foi implementado um esquema de fluxo e análise de informação que passou por uma análise detalhada dos padrões de consumo nos reservatórios (em termos de variação diária, semanal e sazonal) baseado nos dados adquiridos pelos sensores instalados na rede, na comparação das curvas teóricas de funcionamento das bombas com o funcionamento real e com a simulação de cenários alternativos de exploração que permitissem, garantindo o nível de atendimento, reduzir os custos de energia (cf. *Figura 7*).

Com base nesta análise e na restrição dos níveis mínimos admissíveis para os reservatórios foi possível efectuar simulações de cenários alternativos para o funcionamento das bombas que garantissem uma distribuição mais optimizada dos períodos de bombagem tirando partido dos períodos de menores tarifas. O resultado, resumido na *Figura 8* mostra que, somente com recurso a

reprogramação dos períodos de bombagem, é possível reduzir os períodos de bombagem nas tarifas mais caras e aumentar nas tarifas mais baratas.

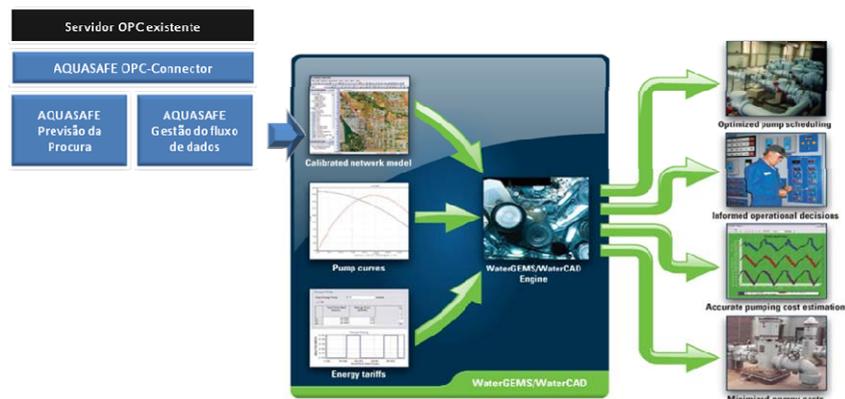


Figura 7 – Esquema geral da integração medidas-modelo para otimização do regime de exploração



Figura 8 – Análise de cenários de exploração alternativos com recurso a reprogramação dos períodos de bombagem. Na imagem to topo esquerdo é apresentado o regime actual e no topo direito um regime alternativo. Em baixo do lado esquerdo podem observar-se os períodos de funcionamento das bombas e os níveis do reservatório

O módulo de otimização de bombagem para poupança de energia ou custos permite assim encontrar a melhor estratégia para otimizar a programação de funcionamento das estações de bombagem tendo por base a minimização de custos ou de energia, neste processo é possível:

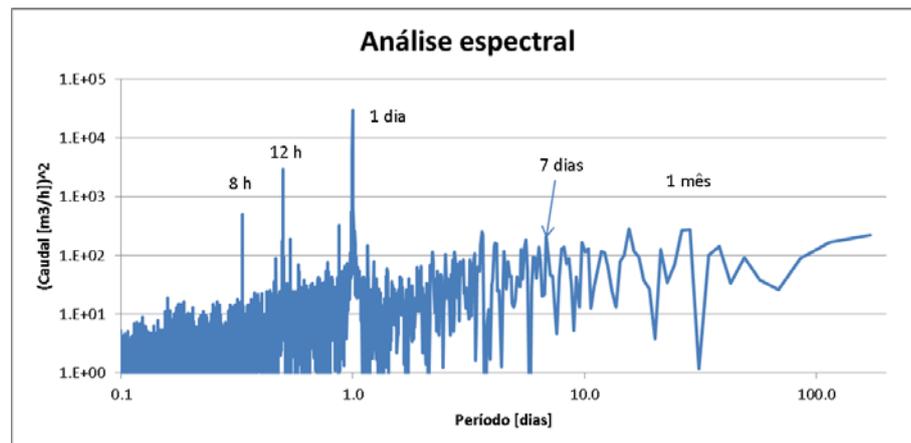
- Identificar as bombas antigas que deixaram de ser eficientes em função da evolução das características do sistema;
- Encontrar as combinações de bombas não funcionam em conjunto;
- Análise comparativa entre bombas de velocidade constante e variável;
- Cálculo do custo da energia para as regras de funcionamento diferentes para encontrar a melhor estratégia;
- Otimização automática do horário de bombagem;

- Análise de funcionamento em função da variação dos preços da energia ao longo do dia;
- Análise de bombagem em função da capacidade de armazenamento e características dos sistemas;

Com base nesta abordagem é assim possível testar cenários de otimização em tempo real bem como avaliar o seu impacto tendo em conta o histórico existente. Desta forma é possível testar as soluções verificando o seu impacto e vantagens caso tivessem sido implementadas no período analisado facilitando por isso a tomada de decisões.

### 3.3 Análise de padrões de consumo

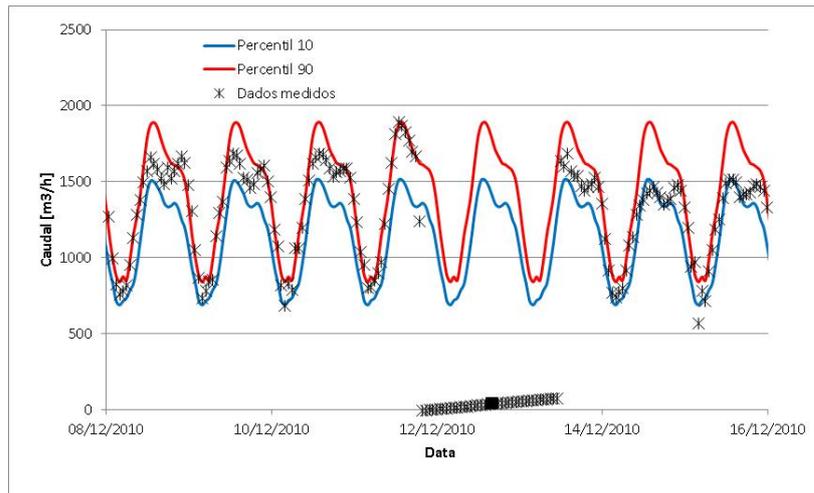
Os sinais *Scada* podem ser analisados recorrendo uma ferramenta de análise de séries temporais desenvolvida especificamente para a plataforma AQUASAFE. Esta ferramenta permite fazer a análise espectral do sinal medido e desta forma identificar as escalas temporais mais importantes (cf. Figura 9). O resultado da análise de frequência é uma matriz 2D, em que uma dimensão é o tempo e a outra o percentil. Desta forma é possível representar os sinais medidos tendo como referência séries temporais que mostram os diferentes percentis que podem ser associados à série de dados medidos.



**Figura 9-** Análise espectral de uma curva de consumos num ponto do sistema de Itaquera (São Paulo - Brasil).A série analisada tem uma frequência horária e vai desde Abril de 2010 a Abril de 2011.

Esta ferramenta também permite fazer uma análise de frequência detalhada que pode ser utilizada para definir limites de alerta ou simplesmente estabelecer bandas de segurança de forma a ajudar os operadores a perceber se os valores medidos são normais ou não. Os dados dos sensores são incorporados na análise à medida que vão sendo adquiridos. A análise de frequência pode ser feita para: i) toda a série temporal; ii) janela temporal centrada no período a analisar; iii) janela temporal de um período passado. Para cada janela temporal pode ainda ser feita a análise a todos os dados compreendidos na janela temporal ou efectuar análises por hora do dia (opção mais correcta caso exista um padrão diário claro) ou por semana (a utilizar quando existe um padrão semanal claro).

A análise espectral de consumos medidos num ponto da rede de Itaquera (São Paulo – Brasil) apresentada na Figura 9 mostra que existe um padrão diário muito claro na série temporal. Este resultado permite também constatar que, para o período analisado, não existe um claro padrão semanal (cf. Figura 10).



**Figura 10** - Consumos num ponto do sistema de Itaquera (São Paulo Brasil) entre 8 e 16 de Dezembro de 2010 (pontos a preto). As linhas contínuas representam o resultante da análise de frequência por hora do dia. A linha azul representa o percentil 10 e a linha a vermelho representa o percentil 90.

#### 4 CONCLUSÕES

A plataforma AQUASAFE incorpora um conjunto de capacidades muito relevantes para ajudar as empresas de águas a retirarem vantagens acrescidas dos dados disponíveis através da utilização de métodos avançados de análise e do uso desta informação para produzir previsões baseadas em modelos de simulação. Desta forma é possível disponibilizar aos operadores e gestores do sistema não só relatórios personalizados como também uma perspectiva de potenciais problemas que possam acontecer se as condições actuais se mantiverem.

Nesta comunicação são apresentadas algumas das capacidades da plataforma AQUASAFE através da respectiva utilização na resolução de requisitos específicos de alguns clientes: detecção precoce de funcionamento anormal de bombas e optimização de rotinas de bombagem com vista à redução dos custos em energia. De forma a suportar estes requisitos específicos foram desenvolvidos módulos para análise de dados e implementados modelos de optimização.

#### 5 AGRADECIMENTOS

O projecto AQUASAFE é parcialmente financiado no âmbito do programa OREN ao abrigo do Programa Operacional de Lisboa, projecto nº 1560.