

# Balanços Hídricos Zonais para Priorização de Intervenções na Rede de Abastecimento de Água

Sameiro Roriz<sup>a,\*</sup>, Rita Araújo<sup>a</sup>, Sérgio Silva<sup>a</sup>, António Ramos<sup>a</sup>, Aisha Mamade<sup>b</sup>, Paula Kawahara<sup>b</sup>

<sup>a</sup> AGERE-EM, Praça Conde Agrolongo, 115, Braga, Portugal

<sup>b</sup> Baseform, Rua Borges Carneiro 34, Lisboa, Portugal

## RESUMO

Atualmente o balanço hídrico é amplamente utilizado na análise de todos os componentes de um sistema de abastecimento, gerando indicadores globais de consumo e perdas de água, e proporcionando maior controlo e conhecimento dos volumes transportados, distribuídos e perdidos. No entanto, a integração e atualização em contínuo de diversos sistemas de informação em um único ambiente permite a análise desses componentes em áreas menores, as Zonas de Medição e Controlo (ZMC), possibilitando a geração de balanços hídricos zonais. Estes balanços permitem a análise de indicadores de desempenho por zona, identificando as zonas mais críticas que necessitam de intervenção de forma expedita, assim como identificam oportunidades de melhoria na qualidade e fiabilidade dos dados. O presente artigo apresenta a metodologia de geração de balanços hídricos zonais em contínuo no ambiente do software Baseform, utilizada pela AGERE para detetar consumos ilícitos e priorizar ações de melhorias na rede. São apresentados dois exemplos concretos ilustrando a sua aplicação e respetivos resultados obtidos.

**Palavras-Chave:** Balanço hídrico, perdas de água, indicadores de desempenho, sustentabilidade, Baseform

**doi:** 10.22181/aer.2025.0304

\* Autor para correspondência  
E-mail: sameiro.roriz@agere.pt

# Zonal Water Balance for Prioritizing Interventions in Water Supply Networks

Sameiro Roriz<sup>a,\*</sup>, Rita Araújo<sup>a</sup>, Sérgio Silva<sup>a</sup>, António Ramos<sup>a</sup>, Aisha Mamade<sup>b</sup>, Paula Kawahara<sup>b</sup>

<sup>a</sup> AGERE-EM, Praça Conde Agrolongo, 115, Braga, Portugal

<sup>b</sup> Baseform, Rua Borges Carneiro 34, Lisboa, Portugal

## ABSTRACT

The water balance method is commonly employed in analyzing various components of a water supply system. It generates comprehensive indicators of consumption and water losses, offering enhanced control and insight into the total volumes of water that are transported, distributed, and lost. By integrating and continuously updating multiple information systems within a single platform, it becomes feasible to analyze these components in smaller regions known as District Metered Areas (DMAs). This approach facilitates the creation of zonal water balances, which allow for the examination of each component within a DMA. As a result, it becomes easier to swiftly identify critical zones that require attention, as well as to determine areas where data quality and reliability can be improved. This paper introduces a methodology for the continuous generation of zonal water balances using the Baseform software utilized by AGERE. This method aims to detect unauthorized consumption and prioritize field interventions. Two concrete examples are provided to illustrate its application and the outcomes achieved.

**Keywords:** water balance, water losses, DMA, KPI, sustainability, Baseform

**doi:** 10.22181/aer.2025.0304

\* Corresponding author  
E-mail: sameiro.roriz@agere.pt

## 1 Introdução

Os balanços hídricos zonais são uma ferramenta essencial para quantificar a água não faturada, as perdas reais e os erros de medição em cada Zona de Medição e Controlo (ZMC), permitindo estabelecer prioridades para as ações sobre o sistema (Loureiro et al., 2015). Porém, o cálculo dos balanços hídricos para cada ZMC representa uma tarefa que envolve um esforço significativo de tempo e investimento para validar e conciliar todos os dados necessários da entidade gestora (EG). Além de implicar uma identificação rigorosa dos caudais de entrada, saída e dos grandes consumidores em cada zona, é necessário realizar a validação constante do cadastro e infraestruturas existentes para cada ZMC, assim como a validação dos dados de faturação. Dessa forma, é essencial a utilização de uma ferramenta que permita o cálculo em contínuo e automatizado de todas as etapas necessárias para a geração de balanços hídricos zonais.

Este artigo descreve a forma como a integração e conciliação de diferentes bases de dados da AGERE no âmbito da implementação do software Baseform (BASEFORM, 2024) permitiu a geração em contínuo de balanços hídricos zonais, apoiando diretamente na monitorização da rede e na priorização das ações a serem realizadas no sistema. O software Baseform é uma plataforma analítica orientada para a gestão de perdas de água e a gestão patrimonial das infraestruturas dos sistemas de abastecimento de água. A solução integra quatro aplicações principais: *Monitor*, desenvolvida para o monitoramento da rede de distribuição e a eficiência operacional em tempo real; *Predict*, destinada ao planeamento e gestão do risco dos ativos; *Billing*, para a análise de consumos e dados de contadores; e *City*, focada na análise de indicadores de desempenho e qualidade do serviço.

O sistema de abastecimento de água de Braga, gerido pela AGERE, serve 95 000 clientes através de 1 200 km de rede, 27 reservatórios com uma capacidade total de 75 050 m<sup>3</sup> e 12 estações elevatórias, está setorizado em mais de 130 ZMC, com cerca de 50 grandes consumidores monitorizados em tempo real.

Este artigo tem como objetivo apresentar a geração de balanços hídricos zonais automáticos em ambiente Baseform para a monitorização da rede e identificação mais precisa de zonas prioritárias para inspeção e intervenção. O artigo encontra-se estruturado em três partes:

- i. Apresentação da metodologia de geração automática do balanço hídrico zonal;
- ii. Identificação das zonas prioritárias a serem inspecionadas e/ou intervencionadas
- iii. Ações realizadas no terreno e resultados obtidos

## 2 Metodologia

### 2.1 Geração automática do balanço hídrico zonal

#### 2.1.1 Integração e validação de dados em contínuo

A geração automatizada de balanços zonais de mais de 130 zonas de medição da AGERE no software Baseform ocorreu por meio da sincronização e atualização de diversos sistemas de informação da AGERE, nomeadamente o sistema de informação geográfica (SIG), ordens de serviço, faturação e telegestão. A conciliação destas bases de dados é fundamental, uma vez que cada sistema apresenta formatos distintos, com utilização de tecnologia específica para garantir a coerência temporal e espacial. Acresce que estas bases de dados se encontram frequentemente isoladas em silos, restritas ao uso de departamentos específicos, dificultando o acesso transversal por parte de outros sectores.

Para além dos sistemas de informação da EG, o *software* Baseform realiza a integração com outras fontes externas de dados, como os censos populacionais, que permitem estimar automaticamente a população por zona. Esta informação é essencial para o cálculo de indicadores de consumo per capita, fundamentais na identificação de incoerências nos dados (por exemplo, consumos per capita anormalmente elevados podem indicar falhas na configuração dos dados de entrada, como leituras incorretas dos caudalímetros) e no apoio ao diagnóstico de perdas nas zonas de controlo.

Nesse sentido, o *software* Baseform permite a validação dos dados e de indicadores para garantir a fiabilidade dos resultados obtidos. É crucial que os sistemas de informação estejam alinhados — por exemplo, a infraestrutura de abastecimento de água deve estar devidamente representada no SIG, refletindo as limitações físicas das Zonas de Medição e Controlo (ZMC), que devem ser hidráulicamente estanques para assegurar a exatidão dos cálculos. Os dados dos caudalímetros devem estar corretamente configurados para garantir a fiabilidade dos volumes medidos à entrada de cada ZMC, e as informações de faturação dos clientes devem ser precisas para que o balanço hídrico seja correto. Para isso, é possível a verificação quase em tempo real dos atributos e indicadores de cada zona (e.g. comprimento de condutas, número de ramais no cadastro, população servida, consumos faturados). (Figura 1).



**Figura 1.** Aplicação “City” do software Baseform com indicadores por zonas

### 2.1.2 Deteção automática de eventos

A identificação rigorosa com base em análises estatísticas robustas de caudais mínimos noturnos para cada ZMC, envolvendo a integração dos dados de telegestão, identificação de grandes consumidores e regas, torna possível estabelecer em contínuo um padrão de consumo esperado da zona e de cada momento no tempo, em evolução dinâmica permanente (Vitorino et al., 2014). Sempre que ocorrem roturas, fugas, consumos não-habituais, ou qualquer outro tipo de alteração anómala ao comportamento esperado daquela ZMC, os algoritmos apoiados em inteligência artificial do *software* Baseform detetam automaticamente eventos e criam alertas em função da sua tipologia e gravidade (Azeitona et al., 2019). O processamento/validação dos eventos de perdas permite uma contabilização automática dos volumes de perdas reais e do consumo legítimo, e um cálculo fiável dos componentes de balanço hídrico zonal. É esta capacidade que permite

executar balanços hídricos ‘bottom-up’ – isto é, em que as perdas reais são um valor conhecido à priori, e não são a variável independente (de fecho) como acontece no balanço hídrico tradicional, ‘top-down’ (Lambert e Hirner, 2000). A variável de fecho é a verdadeira incógnita do problema, o consumo não medido (lícito e ilícito) (Serafim et al., 2022).

A integração de diferentes bases de dados da AGERE e a quantificação do volume perdido em eventos na rede permite uma análise robusta das diferentes componentes do balanço hídrico zonal. Para cada uma das mais de 130 zonas da AGERE e para qualquer período selecionado, é possível a análise do indicador de água não faturada e outros indicadores de perdas, consumo e faturação.

## 2.2 Identificação de zonas prioritárias

### 2.2.1 Abordagem

A identificação de zonas prioritárias a serem intervencionadas passa por duas etapas:

- i. ordenação das zonas mais críticas de acordo com indicadores de desempenho específicos: água não faturada (%), perdas reais (l/ramal/d), consumos *per capita* (l/hab/dia)
- ii. verificação dos dados de consumo e parque de contadores.

A integração dos dados de telegestão com os dados de consumo de água faturada, delimitados dentro dos polígonos associados à área de influência de cada ZMC, possibilita a análise contínua da água não faturada por zona. Este cálculo é realizado automaticamente na aplicação *Monitor* do software Baseform, para qualquer período de análise selecionado. Além da ordenação por zonas com menor percentagem de faturação, outras componentes do balanço zonal também podem ser analisadas, como os consumos *per capita* e perdas reais.

As zonas com valores acima dos 30% de Água Não Faturada (ANF) passam a ser alvo de uma análise detalhada, em paralelo com indicadores de perdas reais e aparentes (ERSAR e LNEC, 2017), com vista à diminuição da água não faturada. Desta forma, é realizada uma análise dos dados de consumos e do parque de contadores na aplicação *Billing* do software Baseform.

Um dos objetivos desta etapa é verificar, nas zonas críticas identificadas na etapa anterior, os dados de consumo e a cobertura efetiva, no período em causa, dos dados de contadores, que podem influenciar os resultados de ANF. Outro objetivo é fazer uma avaliação do parque de contadores, como a quantidade de contadores obsoletos ( $\text{idade} > 12$  anos, para diâmetros de 15-20mm), existência de grandes consumidores e a quantificação de perdas aparentes. Procede-se também à verificação dos dados provenientes do cadastro, como o número de ramais afeto e parque de contadores.

A importação do histórico de dados de faturação, bem como a sua integração em contínuo, são cruciais para uma aferição com maior grau de confiança sobre estes valores. Após os trabalhos de validação anteriormente referidos para cada zona de monitorização e controlo, alcançamos de forma rápida e precisa uma priorização das zonas a intervir primordialmente.

Após a validação dos dados obtidos, decorrem ações que podem ser implementadas em paralelo no terreno, como a verificação dos limites da ZMC, *step-tests* para validação de cadastro, pesquisa ativa de fugas e deteção de consumos ilícitos através de videoscopia. Outro aspeto importante é a verificação/calibração dos medidores de caudal das referidas zonas tendo em conta a deteção de erros de medição e melhoria da sua fiabilidade.

De seguida, apresentam-se dois casos de aplicação da metodologia apresentada.

## 2.2.2 Caso 1: ZMC Picoto Nogueira

Ao analisar o balanço hídrico zonal de todas as ZMC da AGERE, identificou-se que a zona de Picoto Nogueira apresentava uma das percentagens mais baixas de água faturada (12%), definindo-se esta zona como prioritária para análise. Esta zona é a parte restante de um subsistema dividido em quatro ZMC, sendo a única a apresentar um valor tão elevado de ANF (Figura 2). A zona também apresenta um valor significativo de perdas de base (20% do total de água entrada na zona), indicando a possibilidade de existência de fugas ou roturas desconhecidas.



**Figura 2.** Análise das componentes do balanço hídrico zonal da ZMC Picoto Nogueira

Um diagnóstico mais preciso foi realizado ao analisar outros indicadores (como perdas reais em l/ramal/dia e consumo *per capita*), estes indicavam valores demasiado elevados para o consumo *per capita*, muito acima do que poderia fazer sentido: 743 l/hab/dia.

Ao passar para a segunda etapa de análise, nomeadamente a verificação dos dados de consumo e do parque de contadores, verificou-se que esta é uma zona com consumo predominantemente residencial, porém com um parque de contadores envelhecido: 32% dos contadores têm mais de 12 anos.

Com base no diagnóstico realizado na zona em análise, passou-se a suspeitar da existência de ligações desta zona com outras (através de condutas antigas não registadas no cadastro) e/ou consumos ilícitos na rede. Além disso, foi possível identificar a necessidade de substituição de contadores.

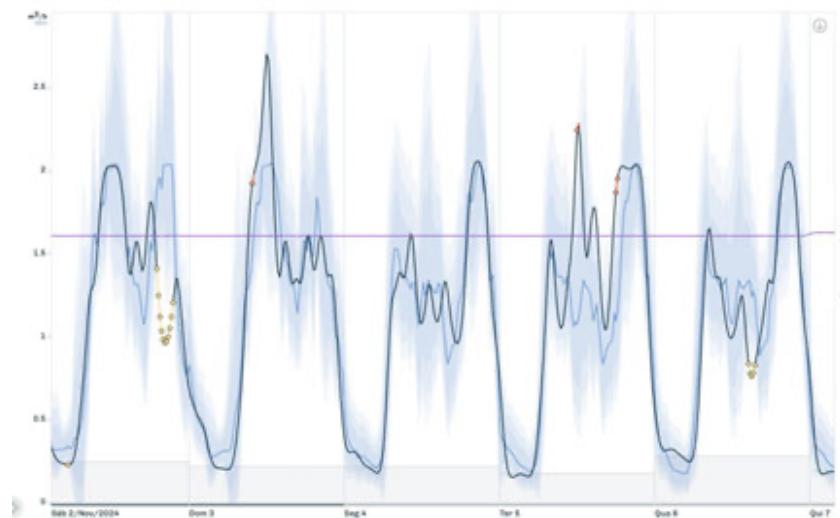
No caso mencionado anteriormente da zona Picoto Nogueira, foram realizadas ações de verificação de limites da ZMC, pesquisa ativa de fugas e videoscopia na rede, que resultaram na identificação de um consumo ilícito por meio de ligação “*by pass*” em ramal. Neste ramal foram estimados 1 322 m<sup>3</sup> de consumo além dos já faturados, no intervalo compreendido entre 05-02-2022 e 05-02-2024, gerando uma fatura de aproximadamente 3 400€ a ser paga. No software Baseform pode verificar-se a diminuição do consumo para o cliente em questão, no intervalo temporal em que usufruiu da ligação ilícita (Figura 3).



**Figura 3.** Histórico de consumo do cliente onde foi identificado o consumo ilícito

### 2.2.3 Caso 2: ZMC AGH02 Sequeira

Apesar de ser uma zona relativamente pequena (caudal médio de  $1\text{m}^3/\text{h}$ ), a zona do grupo hidropressor AGH02 Sequeira foi selecionada para análise por apresentar um caudal de água faturada mais elevado do que caudal de água entrado na zona (Figura 4). Esta zona possui um comprimento total de 6,98 km, 272 contadores e 595 habitantes, com uma percentagem de 88% de clientes domésticos. Foram analisados diversos indicadores da zona com o objetivo de identificar a origem do problema.



**Figura 4.** Caudal de entrada na zona AGH 02 (linha a preto) comparado com o caudal de consumo faturado na zona (linha a roxo)

Ao investigar o consumo *per capita*, identificou-se que a captação com base na água faturada, representada a roxo na figura 4, é plausível, tendo em conta o consumo médio

do sistema e a percentagem de clientes domésticos ( $4,23\text{ m}^3/\text{hx}1000 \times 24 / 596 = 170\text{ l/hab/dia}$ ), enquanto que o consumo *per capita* calculado com o caudal entrado na zona estava muito abaixo do expectável ( $1,03\text{ m}^3/\text{hx}1000 \times 24 / 596 = 42\text{ l/hab/dia}$ ). A partir desta análise, verificou-se a necessidade de validar o caudal entrado na zona. Esta foi uma importante constatação obtida através da análise de uma pequena zona, visto que havia suspeitas de problemas na medição de caudal dos grupos hidropressores e com base nesses resultados foi possível priorizar a ação de calibração e verificação dos caudalímetros de todos os grupos hidropressores do sistema. Sublinha-se a utilidade do consumo *per capita* como variável de aferição, uma vez que os seus valores são facilmente interpretados em absoluto, ajudando a identificar rapidamente potenciais problemas.

### 3 Discussão e Conclusões

Este artigo apresenta a metodologia e resultados obtidos na AGERE decorrentes da geração contínua e automatizada de balanços hídricos zonais em ambiente Baseform. A integração de diferentes sistemas de informação da AGERE (SIG, telegestão, dados de faturação) e dados externos (e.g., censos), juntamente com a validação contínua de indicadores e configuração dos balanços das ZMC e a deteção de eventos, possibilitam o cálculo automático de balanços hídricos fiáveis e robustos para cada zona.

A identificação expedita de zonas críticas de intervenção utilizando os balanços hídricos zonais tornou-se decisiva e um instrumento central para a visibilidade e priorização no combate às perdas reais, assim como para o diagnóstico e ações de melhoria no parque de contadores e combate às perdas aparentes. Como exemplo concreto, foi possível identificar numa zona crítica um consumo ilícito com dívida correspondente a 3400€ e priorizar a ação de calibração de caudalímetros dos grupos hidropressores. Outros resultados não tangíveis incluem a democratização da informação disponível, ou seja, acesso mais amplo e equitativo à informação nas diferentes áreas ou profissionais da EG, possibilitando uma melhor comunicação entre diferentes departamentos (engenharia, comercial e de produção) e a tipificação dos principais aspetos de melhoria associados à implementação da metodologia (atualizações do cadastro e dados de faturação).

É expectável que a implementação contínua desta metodologia permita aumentar a fiabilidade dos dados, agilizar a tomada de decisão e reduzir a água não faturada. Os próximos passos envolvem a integração dos resultados provenientes de outros ambientes do Baseform, como a taxa de falha das condutas de abastecimento (ambiente *Predict*) e a quantificação do volume de perdas de água obtidas através dos modelos hidráulicos gerados no software Baseform. Todos estes aspetos são primordiais para a AGERE na busca da qualidade, eficiência e sustentabilidade dos serviços de água.

### Agradecimentos

A implementação do software Baseform na AGERE é cofinanciada pelo POSEUR ao abrigo do Projeto “Controlo e Redução de Perdas nos Sistemas de Distribuição e Adução de Água no Concelho de Braga”.

### Referências

Azeitona, M., Vitorino, D., Coelho, S.T. (2019). Early detection of long-term developing leaks in water supply systems. Proc. NAWL 2019 - North American Water Loss Conference, American Waterworks Association, December 2019, USA.

BASEFORM (2024). *BF Software, Lda.* <http://baseform.com>, acedido a 21 de junho de 2024.

ERSAR e LNEC (2017) - Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores – 3.<sup>a</sup> geração do sistema de avaliação,” *Guia técnico nº 22*, ERSAR, LNEC, Lisboa.

Lambert, A. e Hirner, W. (2000). Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. *IWA blue pages*, vol. October, no. 3, pp. 1–13.

Loureiro, D., Alegre, H., Mamade, A., Ribeiro, R., Vieira, P., & Coelho, S. T. (2015). Implementing water-energy loss management in water supply systems through a collaborative project: the Portuguese national initiative.

Serafeim, A. V., Kokosalakis, G., Deidda, R., Karathanasi, I., & Langousis, A. (2022). Probabilistic minimum night flow estimation in water distribution networks and comparison with the water balance approach: large-scale application to the City Center of Patras in Western Greece. *Water*, 14(1), 98.

Vitorino D., Loureiro D., Alegre H., Coelho S.T., Mamade A. (2014). In defense of the demand profile: a software approach. *Procedia Engineering* (Science Direct), Vol 89, 2014, p.982– 989, Elsevier.