



### NEXUS ÁGUA E ENERGIA EM EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS

Metodologia e resultados da aplicação em hotéis de 4 e 5 estrelas

Pinto, ARMANDO<sup>1</sup>; Silva Afonso, ARMANDO<sup>2</sup>; Silva Santos, ANTÓNIO<sup>3</sup>; Pimentel-Rodrigues, CARLA<sup>4</sup>; Rodrigues, FERNANDA<sup>5</sup>

1 – PhD, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa, [apinto@lnec.pt](mailto:apinto@lnec.pt); 218443854

2 – Professor, RISCO – Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais, Rua de São Martinho 4-1º, 3810-181 Aveiro, [anqip@anqip.pt](mailto:anqip@anqip.pt); 917212976

3 - Msc, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa, [ajsantos@lnec.pt](mailto:ajsantos@lnec.pt); 218443805

4 – PhD, Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais, Rua de São Martinho 4-1º, 3810-181 Aveiro, [anqip@anqip.pt](mailto:anqip@anqip.pt); 913875500

5 – Professora, RISCO – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, [mfrodrigues@ua.pt](mailto:mfrodrigues@ua.pt); 234370049

#### Resumo

Os elevados padrões de conforto e a qualidade dos serviços prestados nos hotéis de quatro e cinco estrelas conduz a grandes consumos específicos de água e de energia por pessoa. Uma parte importante desse consumo destina-se aos banhos dos hóspedes, o que acarreta inerentes consumos de energia para aquecimento de água e para a sua bombagem até aos dispositivos de utilização. A adoção de dispositivos de utilização (chuveiros) eficientes permite, por um lado, reduzir o consumo de água ao nível do edifício e, por outro, reduzir os respetivos consumos de energia para o aquecimento e distribuição. Por outro lado, ao nível urbano, a redução dos consumos de água, traduz-se também numa redução dos consumos de energia necessários para captação, tratamento, bombagem e distribuição de água, bem como para a bombagem e tratamento de efluentes.

O estudo do *nexo* água-energia foi centrado na avaliação dos consumos de energia associados ao uso de água (pressurização, recirculação, armazenamento e aquecimento), na avaliação laboratorial da eficiência hídrica de chuveiros de hotéis e no estudo da relação entre os consumos e as características das instalações, para os quais se apresentam os respetivos modelos.

Conclui-se pela importância do aumento da eficiência hídrica dos chuveiros tendo em vista a redução do consumo de energia e de água por utilizador em hotéis, bem como pela ausência de relação linear entre consumos de água e de energia. Nos sistemas de bombagem e no isolamento térmico de tubagens existe potencial de melhoria da eficiência para reduzir a pegada de carbono e a vulnerabilidade destes edifícios às alterações climáticas.

**Palavras-chave:** eficiência hídrica, eficiência energética, *nexo* água-energia, alterações climáticas, hotéis.

**Tema:** Usos da água e sua valorização económica.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Aspetos gerais

A água e a energia são recursos escassos, sendo imperativo o seu uso eficiente como estratégia de adaptação e de mitigação às alterações climáticas e para assegurar de forma duradoura a qualidade de vida das populações e o normal desenvolvimento de atividades económicas. Esta necessidade encontra-se consubstanciada nas políticas para um uso eficiente da água (PNUEA), no plano nacional de promoção da eficiência energética (PNAEE, 2016) e na Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAC). O maior consumo de água, acarreta também maiores preocupações ambientais, devido à maior produção de efluentes que requerem energia para o seu transporte e processamento.

Segundo dados do PNUEA, em Portugal, no ano 2000 a procura de água foi estimada, em cerca de  $7500 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$  sendo o sector da agricultura o maior consumidor de água (87%), enquanto o abastecimento às populações correspondia a cerca de 8% dessa procura (PNUEA, 2012). O consumo de Energia Final em Portugal, em 2012, atingiu o valor de 15.591 ktep (239 ktep em eletricidade), sendo o peso do consumo dos principais setores de atividade económica, relativamente ao consumo final de energia, de 32,5% na Indústria, de 35,7% nos Transportes, de 17% no Doméstico, de 12% nos Serviços e de 2,6% na Agricultura e Pescas (DGEG, 2016). Existe uma parcela importante da procura de água e de energia que é desperdiçada, associada a perdas e a ineficiência de uso, contribuindo para um aumento de custos para a sociedade (Mariano, 2011).

Os hotéis são edifícios com elevado consumo de água e de energia per capita, nomeadamente os hotéis de 4 e 5 estrelas devido aos elevados padrões de conforto requeridos (Pinto, 2015a). Contudo, apresentam grande potencial de redução de consumos, quer de água quer consequentemente de energia no aquecimento da água sanitária e na pressurização da água.

Nas políticas e regulamentos sobre edificações, as sinergias destinadas a potenciar um uso eficiente de água e de energia são pouco frequentes, pela independência dos respetivos regulamentos técnicos (RECS-E (2015), REH (2015) e RGSPDADAR (1995)) e das especialidades envolvidas. No Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE, 2015) e REH(2015)) foi promovida a utilização de chuveiros eficientes através da redução das necessidades de AQS, caso os dispositivos de utilização tenham certificação nas letras A, A+ ou A++ (ANQIP, 2015b). Nos sistemas de certificação ambiental ou de sustentabilidade de edificações (BREEAM, LEED) são normalmente identificados maiores incentivos para um uso eficiente desses recursos, que mesmo assim são enquadrados em temas diferentes (energia e água). Deste modo, apesar da consciência do *nexo* entre o consumo de energia e de água, este não é normalmente evidenciado e acautelado. Na secção 2 descreve-se a metodologia adotada e são identificados os princípios do *nexo* entre água, energia e uso eficiente de recursos. Essa metodologia é aplicada a hotéis de 4 e 5 estrelas, de forma a identificar a relevância dessa relação para os fatores críticos no desempenho dessas infraestruturas. Na secção 3 é efetuada a caracterização dos chuveiros, na secção 4 os princípios consumos de energia relacionados com o consumo de água e, por fim, na secção 5 estabelece-se a relação água-energia.

Este estudo centrou-se no período de verão, no qual é maior o risco de *stress* hídrico e maior a taxa de ocupação dos hotéis e o respetivo consumo de recursos, sendo central para o desenvolvimento de estratégias de adaptação às alterações climáticas (Pinto, 2015b).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Relação consumo de água e energia em empreendimentos hoteleiros

Nos edifícios é necessário assegurar o abastecimento de água para fins diversos como sejam a higiene pessoal (banhos e lavatório), remoção de dejetos (autoclismos, urinóis), cozinha (confeção de refeições e lavagem de loiça), lavandaria, água de renovação e reposição em piscinas, a rega no interior ou no exterior, consumo humano, tarefas de limpeza, etc. Além do uso da água para esses fins, a água pode ser também utilizada como meio para a transmissão de energia térmica (calor ou frio) em sistemas de climatização, nas centrais térmicas ou para o aquecimento de água destinada a usos sanitários.

A distribuição da água é normalmente realizada por uma rede de água fria (à temperatura ambiente) e uma rede de água quente. Os circuitos de água relacionados com fins sanitários são normalmente circuitos do tipo aberto, existindo recirculação de água quente. Nos sistemas de climatização, de distribuição de calor e das centrais térmicas os circuitos são do tipo fechado, sendo o consumo de água residual.

No caso de grandes consumidores de água, é recomendado que estes edifícios tenham reservatórios, sendo a água distribuída no edifício com sistemas hidropressores. Nos circuitos abertos a pressão produzida pelas bombas destina-se a vencer a pressão hidrostática, as perdas de carga das tubagens e acessórios. Nos circuitos fechados a energia das bombas destina-se apenas a vencer as perdas de carga.

Considerando um escoamento permanente de um líquido incompressível, da aplicação dos princípios de conservação de massa e de energia entre secções da instalação, resulta a expressão (1) (White, 2011). A perda de carga ao longo da tubagem do sistema ( $h_f$ ) é dada pela expressão (2). O coeficiente de Darcy ( $f$ ) para escoamento turbulento completamente rugoso, habitual nestas redes, depende da rugosidade relativa do sistema ( $\epsilon/D$ , expressão 3), enquanto na zona de transição depende do número de Reynolds ( $Re_D=v.D/\nu$ ) e da rugosidade relativa da tubagem. Além das perdas de carga lineares da tubagem, existem perdas de carga locais nas mudanças de direção, válvulas, mudanças de secção ( $h_m$ ), bem como pode existir trabalho aplicado por bombas ( $h_p$ ). Aplicando o princípio da conservação de energia, a variação da energia no sistema é igual à soma dos ganhos de calor e do trabalho realizado (5). O trabalho mecânico realizado pela bomba no fluido é dado pela expressão 6. O consumo de energia elétrica da bomba é o valor do trabalho afetado pelo rendimento do conjunto bomba e motor ( $\eta_p$ ). Quando existe diferença de temperatura entre o fluido e o ambiente, ocorre transmissão de calor, que pode ser determinada pela expressão (7) para tubagem circular ou pela expressão (8) por unidade de área plana. Por razões de salubridade, conforto (ruído) e prevenção de fenómenos de corrosão, a velocidade no interior das tubagens situa-se tipicamente entre 0.5 a 2 m/s (Pedroso, 2010), sendo no projeto limitadas as perdas de carga a cerca de 100 a 400 Pa/m.

$$\left(\frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z\right)_1 = \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z\right)_2 + h_f + h_m - h_p \quad (1)$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = \frac{\Delta p}{\rho g} \quad (2)$$

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2.0 \log \frac{\epsilon/D}{3.7} \quad (3)$$

$$h_m = k \frac{v^2}{2g} = \frac{\Delta p}{\rho g} \quad (4)$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} \quad (5)$$

$$\dot{W}_p = \rho g \dot{V} h_p \quad (6)$$

$$\dot{Q} = L \frac{(T_{amb} - T_{fluido})}{\frac{1}{\pi D h_i} + \frac{\ln\left(\frac{D+2e_{tubo}}{D}\right)}{2\pi\lambda_{tubo}} + \frac{\ln\left(\frac{D+2e_{tubo}+2e_{iso}}{D+2e_{tubo}}\right)}{2\pi\lambda_{iso}} + \frac{1}{\pi(D+2e_{tubo}+2e_{iso})h_e}} \quad (7)$$

$$\dot{Q} = L \cdot h \frac{(T_{amb} - T_{fluido})}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_e}} \quad (8)$$

Nos grandes consumidores de água, normalmente existe um reservatório situado na base do edifício, a partir do qual é efetuada a distribuição de água. Nos sistemas de água fria (Figura 1), para assegurar uma pressão de 0.5 a 3 bar nos dispositivos de utilização situados ao nível mais elevado, resulta do princípio da conservação de energia (expressão 1) que é necessário fornecer uma pressão não inferior à pressão hidrostática ( $\Delta P = \rho g(z_2 - z_1)$ ), a que acrescem as perdas por atrito no escoamento da água e as perdas associadas ao rendimento do grupo hidropressor, podendo o *nexo* água e energia ser dado pela (expressão 9), em que se adota  $k$  de 350 Pa/m com base no estudo das características das redes dos edifícios estudados. O rendimento do grupo hidropressor ( $\eta_p$ ) varia com o seu ponto de funcionamento, tendo valor de aproximadamente 65%. No circuito de distribuição de água quente sanitária (Figura 2), para assegurar a temperatura da água e reduzir o tempo necessário à sua entrega nos dispositivos de utilização, existe recirculação, podendo a energia mecânica para essa recirculação ser determinada de forma aproximada pela expressão (10). Ao consumo de água quente está associado o consumo de energia térmica para o seu aquecimento (expressão 11) e para compensar as perdas térmicas no sistema de distribuição (expressão 12), em que  $\Psi$  toma o valor 0.30 W/(m°C) para tubagem com isolamento de acordo com o RECS (ex. para água quente até 65°C, espessura de isolamento de 20 mm para tubos até Ø60 mm e 30 mm para tubos com diâmetro superior), 0.45 W/(m°C) para tubagem com metade dessa espessura de isolamento e 0.22 W/(m°C) se fosse adotado o dobro da espessura. O comprimento total da tubagem de distribuição e de retorno de água quente sanitária para efeitos de cálculo das perdas térmicas ( $L_{AQS}$ ) toma o valor  $2x(H+Lx(n.^o \text{ pisos}+1))$  neste estudo, enquanto para efeitos de cálculo das perdas de carga ( $L_{AQS}$ ) toma o valor  $2x(H+L)$ , como se indica na Figura 2. O aquecimento de água pode ser efetuada de diversas formas, por exemplo com recurso a energia renovável (coletores solares, caldeiras a biomassa), com base em recuperação de calor ou pode ser obtida com aparelhos de queima (gás natural, gás propano, etc) ou bombas de calor, podendo a energia do sistema de apoio ser determinada pela expressão 13.

$$\dot{W}_{fria}(W) = \left( (z_2 - z_1)\rho g + 1.5kL_{fria} \right) \dot{V}_{fria} / \eta_{p \text{ fria}} \quad (9)$$

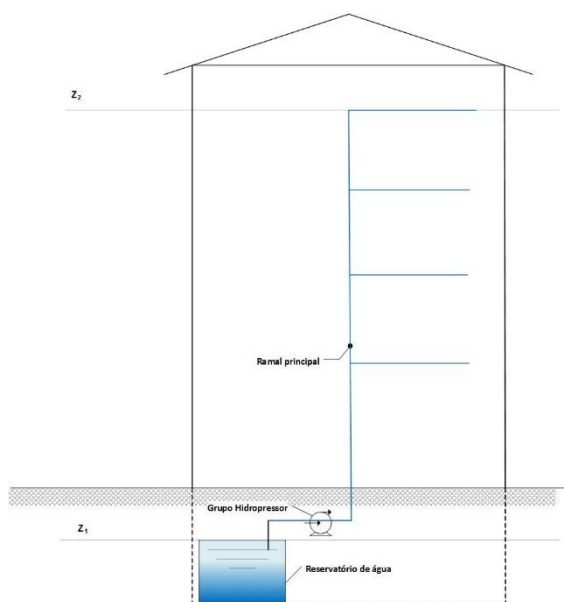
$$\dot{W}_{AQS}(W) = 1.5kL_{AQS}f \cdot \dot{V}_{AQS \text{ recirculado}} / \eta_{p \text{ AQS}} \quad (10)$$

$$\dot{Q}_{AQS}(W) = 4.186 \times 10^6 \times \dot{V}_{AQS} (T_{AQS} - T_{fria}) \quad (11)$$

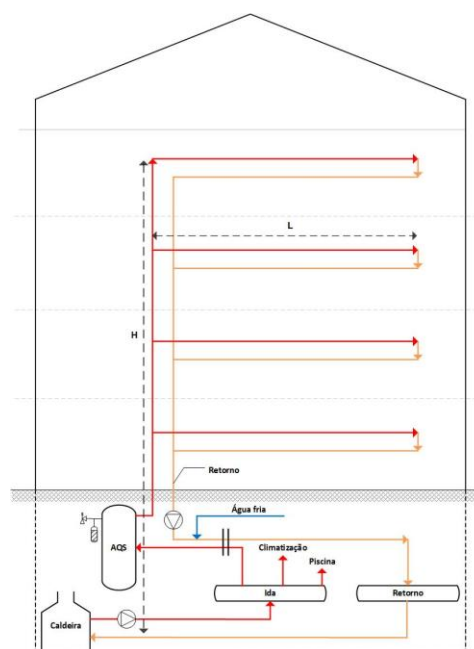
$$\dot{Q}_{AQS \text{ perdas}}(W) = \Psi \cdot L_{AQS} (T_{AQS} - \overline{T_{amb}}) + U \cdot A_{reservatorio} (T_{AQS} - \overline{T_{amb}}) \quad (12)$$

$$\dot{Q}_{AQS \text{ apoio}}(W) = (\dot{Q}_{AQS} + \dot{Q}_{AQS \text{ perdas}} - \dot{Q}_{renovável} - \dot{Q}_{recuperação}) / \eta_{apoio} \quad (13)$$

A distribuição de energia térmica para climatização nos grandes edifícios também pode ser efetuada com base em circuitos fechados com água. Nesses circuitos o consumo de água é nulo, com exceção de situações de fugas ou roturas, pelo que não serão considerados neste estudo. Nos edifícios estudados, existe a utilização de torres de arrefecimento abertas em dois hotéis, pelo que os respetivos consumos também foram considerados.



**Figura 1.** Sistema de distribuição de água fria com reservatório e grupo hidropressor



**Figura 2.** Sistema de distribuição de água quente

## 2.2. Eficiência energética e hídrica

Do balanço de energia efetuado na secção anterior aos sistemas de distribuição de água, evidencia-se a relação entre o consumo de energia e de água (expressões 9 a 13). A análise do *nexo* água e energia dos empreendimentos hoteleiros, centrou-se nas medições realizadas no decurso das auditorias aos edifícios nos meses de verão, com a duração de 15 dias. Tendo em conta que nos hotéis uma parte importante do consumo de água e de energia se deve aos banhos, na secção 3 apresenta-se a análise laboratorial da eficiência hídrica dos modelos de chuveiros instalados nos empreendimentos estudados. Na secção 4, apresentam-se as características dos edifícios e os respetivos consumos de energia associados aos consumos de água. Na secção 5 efetua-se a análise do *nexo* água-energia, com base na avaliação dos sistemas e na relação entre o consumo de água, energia.

## 3. EFICIÊNCIA HIDRICA DE CHUVEIROS

### 3.1. Métodos de ensaio

A metodologia de ensaio utilizada para os ensaios de eficiência hídrica de chuveiros é a que se encontra descrita na Especificação Técnica da ANQIP ETA 0807 (ANQIP, 2015a). Embora a metodologia desta Especificação Técnica esteja estabelecida para medição de caudais de água à temperatura normal na rede de distribuição (que se admite próxima de 12°C) e para uma pressão residual fixa de 3 bar, o procedimento foi generalizado para medição de caudais com outros valores de temperaturas (temperatura de água quente de 38°C) e pressões (entre 1 e 5 bar). A partir das linhas de tendência obtidas os resultados podem ainda ser extrapolados para pressões superiores (ou inferiores).

Os ensaios foram conduzidos para água quente e fria com os equipamentos recolhidos nos hotéis (Figura 3). Em alguns casos de chuveiros que não estavam dotados de redutores, foram

também efetuados ensaios aplicando um redutor comercial para avaliar o potencial de melhoria associado a esta tecnologia.

### 3.2. Resultados de ensaio água fria vs água quente.

A análise dos resultados dos ensaios mostra que, em regra, se observaram caudais um pouco inferiores quando foi utilizada água quente (38°C). No caso de modelo do hotel E com vários elementos de plástico a diferença é de 5 l/min à pressão de 3 bar (Figura 4a). Em alguns modelos de chuveiros, contudo, a diferença não é significativa e só é visível para pressões mais elevadas (Figura 4b, modelo com componentes metálicos do hotel I). Teoricamente, a água quente possui uma viscosidade mais baixa, o que reduz as perdas de carga, conduzindo a um maior caudal. Contudo, a dilatação de peças interiores constituintes do dispositivo pode provocar uma redução nas secções de passagem, contrariando o efeito benéfico da redução de viscosidade da água.




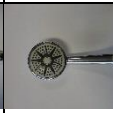






	Hotel A	Hotel B	Hotel C	Hotel D	Hotel D	Hotel E	Hotel F	Hotel G	Hotel I	Hotel I
Valores nominais: Água fria/Água Quente/Class. Hídrica										
S/redutor	12.5/11/C	13.5/10/C	17.5/-/B	13/11.5/C	8/8/B	22/17/D	15/13/C	13/11/C	8.1/8.1/B	13/10.5/C
C/redutor	8.5/8.5/B	8/7.5/B	7.5/5.5/A	8/7.5/B	7/7/B	10/9.5/C	10/8.2/C	9.3/7.5/C	8.1/7.9/B	9.5/9/C

Figura 3. Modelos de chuveiros ensaiados

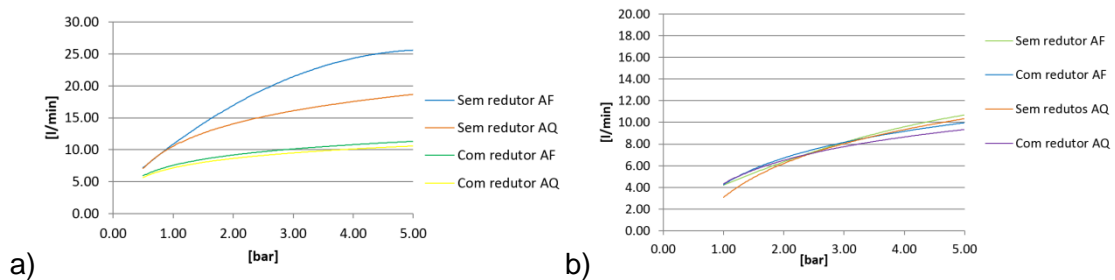


Figura 4. Resultados dos ensaios de dois chuveiros. a) Modelo do hotel E; b) Modelo do hotel I

### 3.3. Efeito dos redutores

O efeito da aplicação de redutores foi sensível, quer na água quente, quer na água fria, nos dispositivos que apresentavam maiores caudais (em geral acima dos 10 l/min). Em geral, os caudais não desceram abaixo dos 5 l/min, o que é importante salientar, dado que, abaixo deste valor, existe a tendência para os utilizadores ficarem mais tempo no banho, o que pode inverter a tendência para a redução do consumo com a redução do caudal (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2015). No caso do hotel E é prevista uma redução de 12 l/min para água fria e de 6 l/min para água quente (Figura 4a).

### 3.4. Análise da eficiência hídrica

Observando os resultados dos ensaios, pode concluir-se que a maior parte dos dispositivos ensaiados não é eficiente do ponto de vista hídrico. De acordo com o sistema de rotulagem de eficiência hídrica da ANQIP (ANQIP, 2015b), o modelo E seria classificado na letra D (melhorando para C com a aplicação do redutor). Os modelos dos hotéis A, B, D, F, G e I seriam classificados na letra C (mantendo-se os F, G, I nesta categoria, mesmo com a aplicação de redutor, e melhorando os três últimos para a categoria B com o redutor). Os

modelos I e D pertencem à B (mesmo depois de aplicado o redutor proposto) e apenas o chuveiro modelo C seria classificado na letra A com a aplicação do redutor (categoria B sem o redutor). Deve notar-se que a ANQIP considera a categoria A como a ideal, embora admita que, em usos não privados, como por exemplo os hotéis, possa ser aplicada a categoria B, por razões de higiene e exigências de maior conforto.

Atendendo às curvas características de funcionamento de alguns dispositivos, regista-se que a realização de avaliações *in situ*, quando existem variações de pressões nos edifícios entre 2.5 bar a 7 bar, pode conduzir a caudais nominais muito diferentes dos caudais de referência usados na avaliação da eficiência hídrica que é feita para uma pressão residual de 3 bar à entrada do dispositivo.

#### **4. CONSUMO DE ENERGIA E DE ÁGUA**

##### **4.1. Caracterização dos edifícios**

Foram objeto de estudo nove hotéis de 4 e 5 estrelas. Os hotéis designados por A, B, C e D situam-se em Lisboa enquanto os restantes se localizam no Algarve. A dimensão dos hotéis varia entre unidades de 55 a 300 quartos (Figura 5) e com alturas de elevação de água de 15 a 55 m. Os hotéis estão dotados de piscinas interiores aquecidas e alguns também de piscinas exteriores, em que a área de piscinas por número de quartos do empreendimento varia entre 0.2 a 11 m<sup>2</sup>/quarto. Nos hotéis do Algarve esse valor é superior a 2.7 m<sup>2</sup>/quarto. Apenas um empreendimento hoteleiro tem uma piscina exterior aquecida, com bombas de calor, que no período de verão têm um funcionamento pontual. Os hotéis A, B, C e I têm lavandarias com uma produção relevante, enquanto os restantes têm lavandarias de pequena dimensão para usos pontuais, dado que a generalidade do tratamento da roupa é efetuado no exterior. Nos hotéis D, E, F, G, H e I existem espaços verdes exteriores com rega, que são normalmente alimentados por um ramal independente, não sendo os respetivos consumos considerados nesta análise. Cerca de 44% dos hotéis estudados tem chuveiros com baixa eficiência hídrica (ver secção 3) e apenas um deles tem sistema de recuperação de água da chuva, que no período de avaliação não teve qualquer aproveitamento devido à ausência de precipitação.

No hotel I, a produção de água quente sanitária é realizada em cada uma das unidades de alojamento com recurso a um termoacumulador elétrico, enquanto nos restantes casos o aquecimento da água é efetuado de forma centralizada através de caldeiras, reservatório de acumulação e circuito secundário de distribuição.

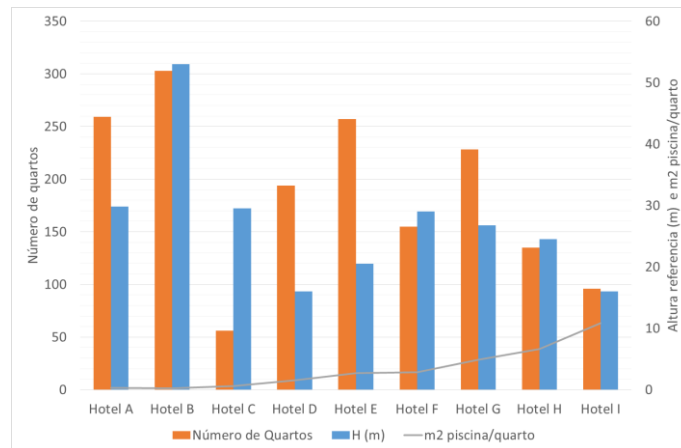
##### **4.2. Sistemas hidropressores: pressões disponíveis e consumo total**

Na auditoria aos hotéis foi avaliado o consumo de energia dos grupos hidropressores, bem como foram avaliadas as condições de pressão nos dispositivos de utilização. Na Figura 4 representam-se os resultados da medição da pressão disponível nos dispositivos do piso mais alto, do piso 1 e do piso onde se situam as bombas. No ponto mais alto dos edifícios a pressão disponível excede o valor de 3 bar (exceto nos hotéis B e D), indiciando potencial de redução da pressão de funcionamento das bombas e do respetivo consumo de energia, pois é aceitável ter no piso mais alto um valor de 1.5 a 2.0 bar. No piso 1 as pressões são também normalmente superiores a 4 bar. O valor da pressão disponível ao nível do piso das bombas é elevado e concordante com a soma do valor da pressão disponível no piso mais alto acrescido da altura de referência do edifício.

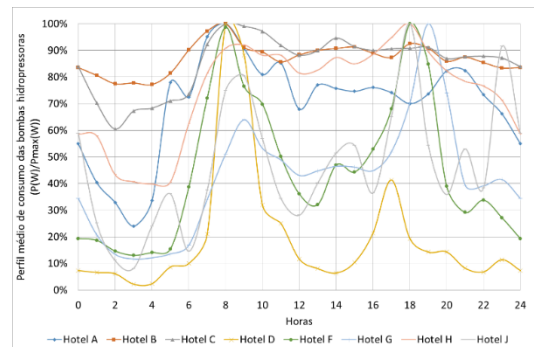
A variação excessiva de pressão ao longo da altura do edifício evidencia poder ser benéfico subdividir o sistema de distribuição em duas zonas de pressão, nos edifícios mais altos, para

assegurar pressões mais constantes e baixas nos dispositivos de utilização, com as potenciais reduções de consumos de água e de energia.

O registo do consumo de energia nos grupos hidropressores (Figura 7) evidencia o padrão de uso de água nos edifícios, que é muito variável, mesmo para hotéis do mesmo tipo e zona. De uma forma geral ocorrem consumos maiores no período da manhã (7h-10h) e ao final da tarde (17h-19h). Nos hotéis de cidade, o pico de consumo ocorreu durante a manhã, enquanto nos hotéis de praia o consumo maior ocorre ao final da tarde.



**Figura 5.** Características dos hotéis: altura, número de quartos dos hotéis e área de piscina por quarto



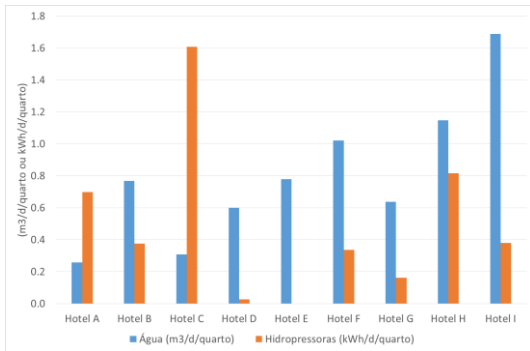
**Figura 6.** Pressão disponível nos dispositivos de utilização **Figura 7.** Perfil diário de consumo de energia nas bombas hidropressoras

Para o período em análise, o consumo de energia de bombagem e de água por unidade de alojamento tem os valores indicados na Figura 8. Os hotéis A e C apresentam um consumo específico de água relativamente baixo (inferior a 300 l/quarto), enquanto os hotéis H e I apresentam um consumo específico acima da média e que é condicionado pela área de piscinas/quarto, (ver Figura 5) enquanto no hotel I é condicionado pelo facto de ter unidades de alojamento com capacidade para 4 ocupantes. Da comparação do consumo de energia nas bombas hidropressoras dos nove hotéis, verifica-se que não existe uma relação direta com o consumo de água, devido à diferença de eficiência nos sistemas hidropressores (Figura 9) e ao aproveitamento da pressão da rede de abastecimento (hotéis D, E e I).

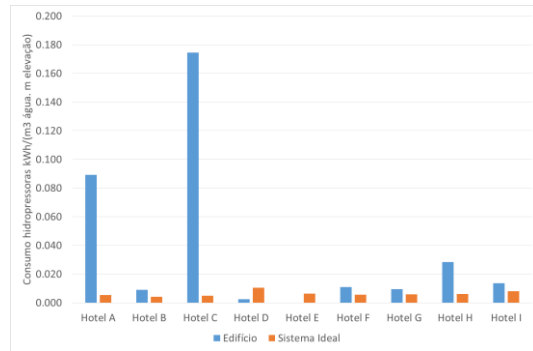
Nos nove hotéis o sistema hidropressor tem um consumo médio de 0.8 W/(l/min)/m de elevação. Num sistema ideal, para assegurar 2.0 bar nos pisos mais elevados seria suficiente



uma potência específica de  $0.4 \text{ W}/(\text{l}/\text{min})/\text{m}$  (expressão 9), evidenciando um sobredimensionamento do grupo hidropressor e uma baixa eficiência média da instalação face ao sistema ideal. Destes resultados, constata-se que os hotéis A e C têm sistemas com consumos específicos elevados, enquanto os hotéis D e E apresentam consumos específicos inferiores aos ideais, dado que aproveitam parte da pressão disponível da rede, pois têm alimentação por rede interna de abastecimento de hotéis. O consumo de energia elétrica dos grupos hidropressores é de cerca de 1 a 5% do consumo de energia elétrica do edifício no período de verão.



**Figura 8.** Consumo médio diário de energia nas bombas hidropressoras e de água no edifício



**Figura 9.** Eficiência do sistema hidropressor

### 4.3. Consumo de energia para produção de calor e bombas circuladores de AQS

O consumo de água quente para fins sanitários (AQS) nos hotéis destina-se a usos na cozinha, na lavandaria (quando existe o respetivo uso), nas instalações sanitárias dos quartos e nas públicas, nos quartos e nas piscinas. Nos empreendimentos estudados o aquecimento da água é efetuado com base em caldeiras e distribuição com recirculação de água. Os sistemas de aquecimento também estão concebidos para satisfazer as necessidades de aquecimento ambiente no período de inverno.

No período de verão o consumo de gás destina-se ao aquecimento de água e a usos na cozinha. Em apenas um dos hotéis é utilizado gás para produção de vapor para a lavandaria. O consumo de gás na cozinha, de acordo com as medições, é de aproximadamente  $0.11 \text{ m}^3\text{gás}/(\text{quarto}.\text{dia})$  nos hotéis com cozinhas equipadas maioritariamente com fornos a gás e de  $0.04 \text{ m}^3\text{gás}/(\text{quarto}.\text{dia})$  nos hotéis em que predominam fornos elétricos na cozinha.

Apenas um dos hotéis tem um contador do consumo de água quente do edifício. No período de verão este consumo correspondeu a cerca de 30% do consumo de água do empreendimento, ou seja,  $150 \text{ l}/\text{quarto}$ , que é concordante com valores utilizados no projeto.

Foi realizada a identificação das características, a medição de consumos de energia e das diferenças de pressão das bombas dos circuitos de água. De uma forma geral as bombas circuladoras são de caudal constante. Num dos hotéis existem bombas circuladores de caudal variável, mas as medições efetuadas ao longo do tempo evidenciaram que o seu regime de funcionamento é aproximadamente constante. Na figura 11 apresenta-se a relação entre a potência nominal das bombas circuladores e a potência medida. Nas bombas do circuito secundário a potência absorvida é cerca de metade da potência da bomba. No circuito secundário o método simplificado de estimar o consumo de energia nas bombas é razoável, enquanto no caso das piscinas e circuito primário a fiabilidade é menor devido às singularidades desses circuitos.

## 13.º Congresso da Água

A avaliação das perdas térmicas no sistema de distribuição de água quente foi efetuada com a medição da temperatura nessa rede de distribuição, no caudal e nas características de isolamento térmico da tubagem (Figura 10 e 12). As perdas térmicas pelas tubagens foram determinadas com base no seu comprimento, no nível de isolamento térmico (expressão 7), no caudal das bombas circuladoras e na temperatura de ida e retorno registada nas instalações. Existe concordância desses dois métodos nos hotéis B, E e G (face às incertezas envolvidas) e diferenças relevantes nos hotéis D e H, face ao sobredimensionamento das bombas e extensão dos circuitos secundários.

Na avaliação do consumo de água e de energia nas piscinas foi efetuada a distinção entre piscinas interiores (normalmente aquecidas) e piscinas exteriores. O consumo de água nas piscinas deve-se à compensação das perdas por evaporação, à quantidade de água transportada pelos banhistas, bem como à água de renovação. De acordo com a Diretiva CNQ 23 (1993), devem ser renovados 30 l/banhista/dia, com um valor mínimo de 2% do volume da piscina. Além do consumo de água da piscina, há que considerar o consumo de água associado à limpeza dos filtros (mínimo de dois ciclos semanais com a duração típica de 8 minutos), a água consumida na limpeza da piscina e a água dos duches dos banhistas.

A produção de água quente é realizada com caldeiras, tendo sido efetuada a avaliação experimental do seu rendimento. Nos nove hotéis, foi obtido um rendimento médio de 94%, com variações de  $\pm 4\%$ ; o que é um rendimento aceitável, apesar de inferior ao das caldeiras de condensação. Em três hotéis estão instalados sistemas de recuperação de calor do *chiller* e num hotel encontra-se instalado um sistema de coletores solares. No hotel I a água quente das unidades de alojamento é produzida de forma local com termoacumulador elétrico, não existindo medições desses consumos, e os mesmos não se refletem neste balanço global.

Na Figura 13 apresenta-se a desagregação do consumo de energia primária associado à produção e distribuição de água quente sanitária. Nos diversos hotéis, o principal consumo de energia relacionado com a água deve-se à produção de AQS (superior a 40%), tendo as perdas térmicas na rede de distribuição de calor uma relevância de 13% (20% da energia para AQS) e que depende da arquitetura do empreendimento, nomeadamente da existência de corpos distintos. Nos hotéis do algarve, devido à maior área de piscinas face aos hotéis de Lisboa, o consumo de energia associado às bombas das piscinas é responsável por cerca de 30% do consumo de energia primária. Nos hotéis F e G, as bombas do sistema de recuperação de calor do *chiller* apresentam um consumo superior ao consumo de gás evitado, evidenciando a necessidade de melhorar o controlo deste subsistema. No hotel G, evidencia-se o benefício do aproveitamento da radiação solar para aquecimento de água com coletores solares (0.77 m<sup>2</sup> de coletor/quarto), em que neste caso o consumo da bomba é residual.

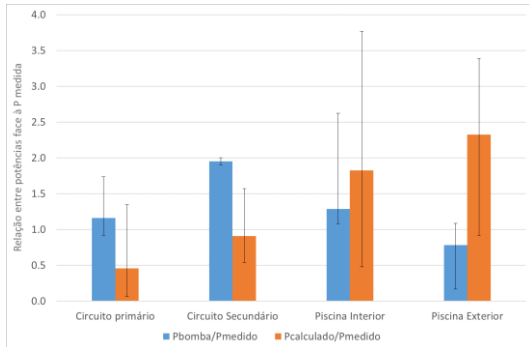
As necessidades de energia primária associadas ao uso da água são aproximadamente 20% das necessidades de energia primária dos edifícios no período de verão. Caso, seja melhorado o sistema de recirculação de água com sistemas de bombagem mais eficientes, sistemas de aquecimento de água com rendimentos próximos de caldeiras de condensação, introdução de redutores de caudal ou substituição por dispositivos eficientes (chuveiros, torneiras, autoclismos, procedimento de limpeza do quarto, equipamentos da cozinhas e outros) e seja reforçado o isolamento térmico da tubagem da água quente para o dobro do recomendado no RECS-E, seria possível atingir uma redução das necessidades de energia primária associadas ao uso da água de aproximadamente 35% e uma redução do consumo de água de 20% (35% de água quente).

## 13.º Congresso da Água

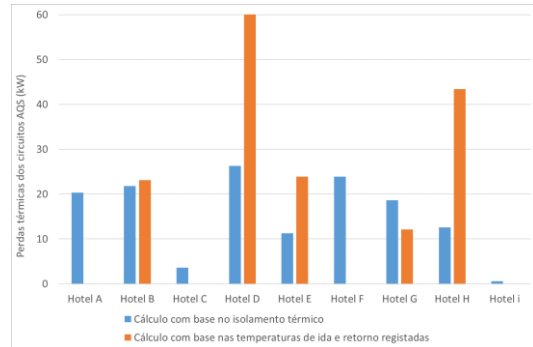
Neste balanço foi deduzido o consumo de gás para a produção de vapor para a lavandaria no hotel B (1.8 m<sup>3</sup>/dia/quarto) e o consumo de água nas torres de arrefecimento do ar condicionado (30 e 50 l/dia/quarto) dos hotéis B e F.



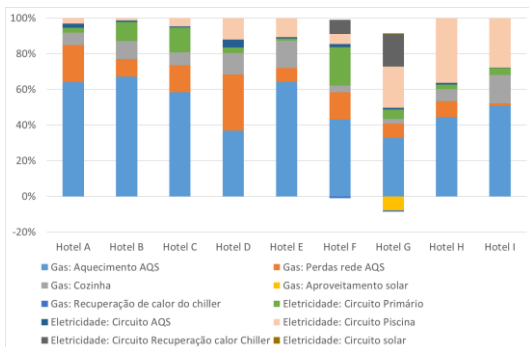
**Figura 10.** Avaliação da qualidade do isolamento térmico



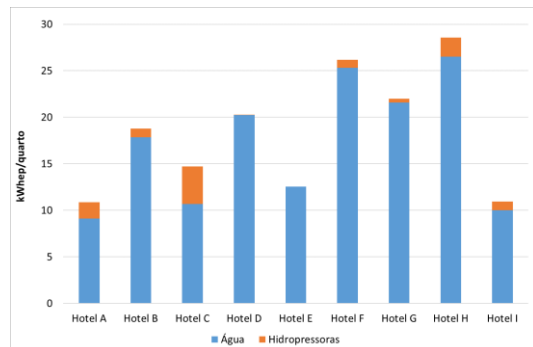
**Figura 11.** Bombas dos circuito de distribuição



**Figura 12.** Cálculos das perdas térmicas nas tubagens de AQS



**Figura 13.** Desagregação do consumo de energia primária associado à produção e distribuição de água quente sanitária



**Figura 14.** Energia primária associado ao uso de água: hidropressora e produção e distribuição de água quente sanitária

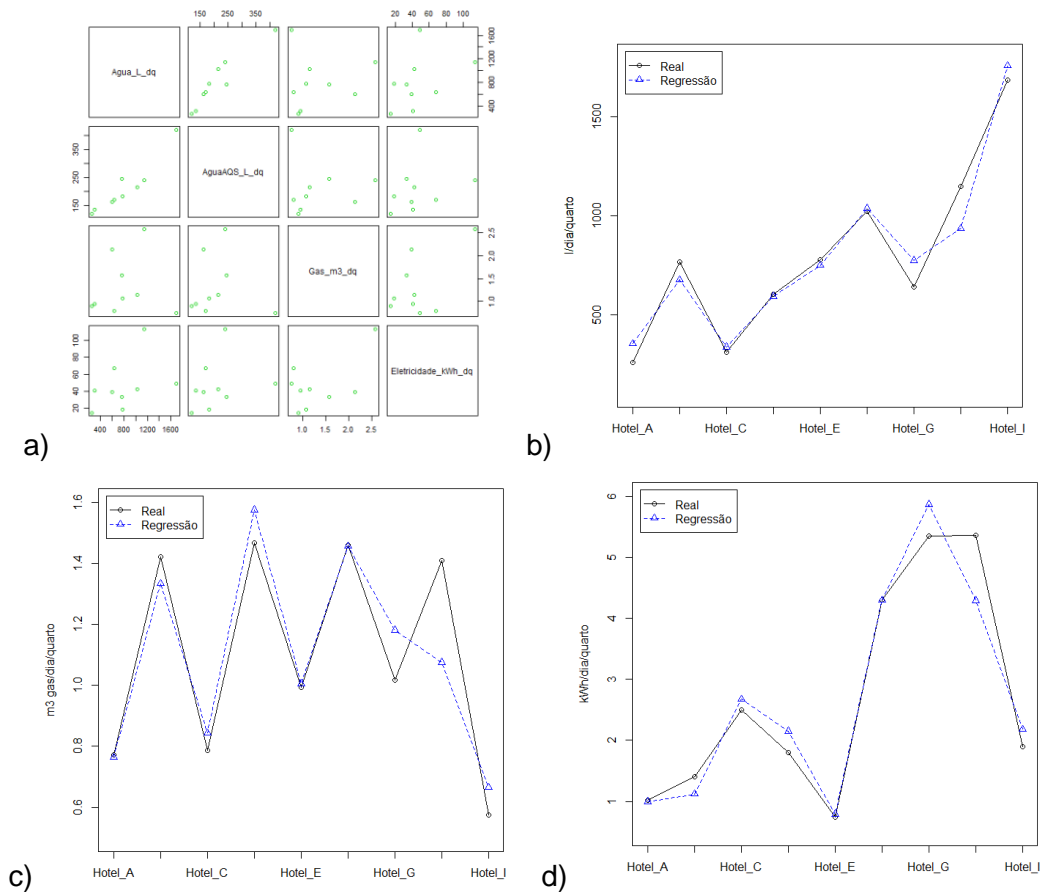
## 5. NEXO ÁGUA E ENERGIA

Nas secções anteriores foi identificado o consumo de água e de energia nos empreendimentos hoteleiros tendo sido possível analisar a adequação dos modelos definidos na secção 2 para estimar consumos de energia e de água e para avaliar a eficiência dos sistemas. Atendendo à especificidade de cada hotel, quer em termos de uso, equipamentos e arquitetura, uma relação entre usos de água e de energia não é linear (Figura 15a). Na Figura 15b, apresenta-se a análise de regressão do consumo de água por quarto e por dia, tendo como variáveis independentes: volume das piscinas, número de ocupantes, caudal

nominal chuveiros, covers e quantidade de roupa para a qual se obtém  $R^2=0.94$ , coeficiente Pearson  $=0.97$ , para intervalo de confiança de 95%.

Aplicando a mesma metodologia ao consumo de gás para produção de AQS e para compensar as perdas térmicas na rede de distribuição (Figura 15c), a análise de regressão tendo como variáveis independentes: volume das piscinas, número de ocupantes, caudal nominal chuveiros, covers, quantidade de roupa e comprimento da rede ( $L_{AQSt}$ ) conduz também a uma regressão boa, para a qual se obtém  $R^2=0.82$ , coeficiente de Pearson  $=0.91$ , para intervalo de confiança de 95%. Efetuando a análise de regressão para o consumo de eletricidade nas bombas hidropressoras e de recirculação de água quente, com as variáveis anteriores obtém-se a uma regressão boa com  $R^2=0.94$ , coeficiente de Pearson  $=0.97$ , para intervalo de confiança de 95%.

Em qualquer destes três casos, o caudal nominal dos chuveiros é uma das variáveis relevantes, evidenciando a importância do controlo do débito dos dispositivos de utilização para um uso eficiente de água e de energia.



**Figura 15.** Análise de regressão: nexos água vs energia

### 6. CONCLUSÕES

Foi apresentada uma metodologia destinada a estimar os consumos de energia associados aos usos de água em hotéis de 4 e 5 estrelas. Essa metodologia foi aplicada ao estudo de 9 hotéis no período de verão, no qual as taxas de ocupação são maiores e no qual existe uma maior pressão para um uso eficiente de recursos. As medições e a recolha de informação no decurso das auditorias permitiram aferir a qualidade das estimativas com os modelos da secção 2. As medições revelaram que o consumo de energia associado aos usos de água é de sensivelmente 20% do consumo de energia primária do edifício no período de verão e que o consumo de água associado aos chuveiros é cerca de 15% do consumo total de água, no mesmo período.

Foi evidenciado que não existe uma relação linear entre consumos de água e de energia, devido à diferença das soluções arquitetónicas e às características dos equipamentos. Contudo, através da análise de regressão é evidenciada a relevância da eficiência hídrica dos chuveiros nos consumos de energia e de água, bem como de outros fatores (ocupação, covers, comprimento da rede de distribuição de água quente, etc). A análise de regressão constitui-se também como uma forma de apreciação da metodologia de análise experimental do desempenho dos edifícios, pois através da utilização das variáveis independentes identificadas na secção 2 foi possível estimar com um grau razoável de correlação os consumos de água, gás e eletricidade ( $R^2 > 0.82$ ).

A análise destes edifícios evidenciou existir um grande potencial de conservação de água e de energia e de adaptação às alterações climáticas através da melhoria da eficiência hídrica e energética de chuveiros e outros equipamentos, que pode corresponder a cerca de 35% de redução dos consumos de energia primária (associada ao uso de água) e de 20% no consumo de água. Foi efetuada a caracterização laboratorial de chuveiros que permitiu obter as suas curvas de funcionamento e evidenciar as possíveis variações de caudal com a pressão da rede e a temperatura da água. Foi evidenciado que a aplicação de redutores de caudal permite reduzir os débitos nominais destes dispositivos, sendo uma medida custo-benefício a ponderar, apesar de não ser tão eficiente como os dispositivos mais recentes especificamente concebidos. Foram identificadas melhorias pontuais ao nível do sistema hidropressor e das bombas de distribuição de água quente, do isolamento dos sistemas de distribuição de água quente e do controlo dos sistemas para recuperação de energia dos *chillers*, que nos períodos das medições tinham um consumo de energia superior ao calor recuperado. As perdas de calor na rede de distribuição são relevantes (cerca de 20% da energia de AQS), são praticamente independentes da ocupação e por esse facto devem ser objeto de minimização.

Existe a possibilidade de implementação de outras medidas de uso eficiente de água identificadas por exemplo em (Pedroso, 2009), mas o exemplo de aproveitamento de água da chuva no período de auditoria não se revelou possível pela ausência de precipitação.

### AGRADECIMENTOS

O projeto AC:T, está integrado no Programa AdaPT gerido pela Agência Portuguesa do Ambiente, IP (APA, IP), enquanto gestora do Fundo Português de Carbono (FPC), sendo cofinanciado a 85% pelo EEA Grants e a 15% pelo FPC.

### CITAÇÃO DE REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS NO CORPO DO TEXTO

ANQIP (2015a). ETA 0807 - Especificações para a realização de ensaios destinados à certificação de eficiência hídrica ANQIP de chuveiros e sistemas de duche (Versão 4). Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais, Aveiro, Portugal.

ANQIP (2015b). ETA 0806 - Especificações para atribuição de rótulos de eficiência hídrica ANQIP a chuveiros e sistemas de duche (Versão 4). Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais, Aveiro, Portugal.

CNQ 23 (1993) – A Qualidade nas Piscinas de Uso Público. Caparica: IPQ. Directiva CNQ N.º 23.

Mariano, N., Rodrigues F., Silva Afonso, A. (2011) - Water efficiency in buildings: a contribute to energy efficiency. 37th International Symposium, 409-415, 25th-28th September 2011 CIB W062, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Pedroso, V. (2000) – Manual dos sistema prediais de distribuição e drenagem de águas. Lisboa: LNEC.

Pedroso, V. (2009) - Medidas para um uso mais eficiente da água nos edifícios. Lisboa: LNEC. ITE 53.

Pimentel-Rodrigues, C., e Silva-Afonso, A. (2015) Difficulties for the setting of minimum flows in showers. In Anais da Water Efficiency Conference (WATEF 2015), Exeter, UK, 5 a 7 de Agosto de 2015.

Pinto, A. (2015a) – Estado da arte: Aspetos gerais e identificação de indicadores. Lisboa, LNEC e IPMA. Publicação do projeto AdaPT AC:T – Método para integração da adaptação às Alterações Climáticas no Sector do Turismo.

Pinto, A., Bernardino, M; Silva Santos, A., Espirito Santo, F. (2015b) - Assessing climate change impact in hospitality sector. simplified approach using building resources consumption signature. AECEF2015 8th Symposium, FEUP, Porto.

RECS-E (2013) - Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS) - Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções. Lisboa: INCM. Portaria n.º 349D-2013.

REH (2013) - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) - Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções. Lisboa: INCM. Portaria n.º 349B-2013.

RGSPDADAR (1995) - Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais. Lisboa: INCM. Decreto Regulamentar n.º 23/95.

White, F.M. (2011) – Fluid Mechanics. Nova Iorque: McGrawHill. 7ª edição.