



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Impacto da Redução de Pressões em Instalações Colectivas no Uso Eficiente da Água

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente

Autor

Ana Filipa Marques Carvalho

Orientadores

Pedro Manuel Pinheiro Veloso Lopes Tavares

Jorge Luís Silva Santos Temido

Colaboração Institucional:



Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correcções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Julho, 2013

AGRADECIMENTOS

Este documento representa mais um final de uma etapa da minha vida, que sem a ajuda das pessoas a seguir mencionadas não poderia ter sido possível.

Quero desde já agradecer ao Professor Doutor Pedro Tavares, pela sua orientação fantástica, amizade e paciência demonstrada para comigo neste período tão importante da minha vida.

Ao Professor Jorge Temido, também pela sua orientação, pela transmissão de conhecimentos e sabedoria, por toda a ajuda prestada e por ser o elo de ligação à empresa ISA.

À empresa ISA - Intelligent Sensing Anywhere, S.A., sem a qual esta experiência e caso de estudo não poderiam ter decorrido.

Ao Agrupamento de Escolas Martim de Freitas, em especial à sua directora, Dr.^a Adélia Lourenço, pela disponibilidade e amabilidade com que sempre me receberam e por terem possibilitado a instalação do equipamento necessário para o estudo pretendido.

Ao Sr.^o Joaquim, do Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, pela disponibilidade e montagem do equipamento necessário.

Aos meus Pais, que sem eles nada disto seria possível, que me acompanharam sempre e me apoiaram nos momentos que mais precisava.

À minha restante família que também contribuíram para esta etapa da minha vida.

Ao meu querido namorado, Nuno Andrade, e família pelo seu apoio incondicional.

Aos meus amigos, a todos, cada um com a sua contribuição, mas em especial às “7 Maravilhas+1” que desde o primeiro dia me apoiaram e a sua amizade foi muito importante.

À Professora Doutora Maria Madalena Martins e família, pelo apoio prestado desde a adolescência.

O meu profundo OBRIGADA a todos.

RESUMO

A procura de água em Portugal está actualmente estimada em 7500 milhões de metros cúbicos por ano no conjunto dos sectores urbano, agrícola e industrial. Em termos de procura por sectores, de acordo com o Plano Nacional da Água, verifica-se que embora a agricultura seja claramente o maior utilizador de água em Portugal, com 87% do total, contra 8% do total no abastecimento urbano às populações e 5% do total na indústria, quantos aos custos efectivos da utilização da água o sector urbano é o mais relevante, com cerca de 46% do custo total associado, seguido da agricultura 28% e da indústria com 26%.

Nem toda esta procura de água é efectivamente aproveitada, na medida em que há uma parcela importante associada a ineficiência de uso e perdas, relativamente à água que é efectivamente captada. Trata-se portanto de uma componente que tem custos para a sociedade mas não lhe traz benefícios. Estes volumes elevados indiciam assim potenciais de poupança muito importantes.

Os consumos em instituições públicas ou privadas, como estabelecimentos de ensino, estabelecimentos de saúde, instalações desportivas, organismos públicos, quartéis, não são bem conhecidos e julga-se que apresentam um elevado potencial para a promoção de acções destinadas ao uso mais eficiente da água ou à sua conservação. Os usos da água nestes edifícios podem incluir os de instalações sanitárias, de balneários, da limpeza de instalações, da lavagem de roupa, da rega de espaços exteriores, na preparação de refeições, entre outros.

A realização de controlo adequado das pressões nas instalações colectivas e comerciais, de modo a garantir as pressões mínimas adequadas mas a evitar pressões excessivas, permite reduzir a ocorrência de perdas e melhorar a eficiência no uso da água. A ocorrência de pressões excessivas nas instalações hidráulicas contribui para um maior consumo de água, quer durante a utilização de um qualquer dispositivo, quer através de roturas existentes.

Assim, no presente trabalho pretende-se, com recurso a sistema de telemetria e a transdutores adequados, avaliar o impacto da redução de pressões no uso eficiente da água em instalações colectivas e prediais, particularmente em escolas.

ABSTRACT

Water usage in Portugal is currently estimated to be 7500 million cubic meters/year considering the industrial, agricultural and urban usages together. When stratifying the usage by different areas, according to the National Water Plan, agriculture clearly is the biggest consumer of water in Portugal , with 87% of the total, against 8% in urban setting and 5% in the industry. In what concerns the effective costs, water usage in the urban setting is the most relevant (46% of the costs), followed by agriculture (28%) and industry (26%).

Not all the water is effectively used, since a great part of it is associated no the inefficiency of usage and losses, in relation to the water that is effectively captured. Therefore, this represents a burden to the society without benefits and there is the potential for saving.

Water consumption in the public and private institutions, such as schools, hospital, sport associations, public and military buildings is not well known and it is possible that promotional actions have a high potential to improve the efficiency of water usage and its preservation. Water usage in these buildings may serve toilets, cleaning stations, laundries, watering stations, kitchens, as well as many others.

An adequate control of the pressures in collective and commercial buildings, allowing minimal adequate pressures but avoiding excessive pressures, allow the reduction of losses and improve the efficiency of water usage. Excessive pressure in hydraulic stations is associated with a higher water consumption not only through a higher usage by any device but also through possible pipe disruptions.

Therefore, this work aims to evaluate the impact of pressure reduction in the efficient water usage in collective buildings, such as schools, by using telemetry and adequate transducers.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento e Relevância do Tema	1
1.2 Objectivos.....	3
1.3 Estrutura da Dissertação	3
2. USOS PREDIAIS DE ÁGUA	5
2.1 Considerações Prévias	5
2.2 Consumos de Água em Instalações Colectivas	7
2.2.1 Enquadramento.....	7
2.2.2 Instalações de saúde.....	8
2.2.3 Instalações desportivas	9
2.2.4 Instalações de ensino	9
2.2.5 Edifícios de serviços e escritórios	10
2.2.6 Centros comerciais	11
2.2.7 Instalações hoteleiras.....	11
2.2.8 Outras instalações colectivas	12
2.3 Medidas para a promoção do uso eficiente da água	13
3. GESTÃO DE PRESSÃO EM REDES	19
3.1 Considerações Iniciais	19
3.2 Gestão de Pressões em Redes de Abastecimento	19
3.3 Gestão de Pressões em Redes Prediais	24
3.3.1 Introdução.....	24
3.3.2 Expressões matemáticas	25
3.4 Benefícios e Problemas Associados à Gestão de Pressões.....	27
.....	30
4. CASO DE ESTUDO	30
4.1 Descrição do Caso de Estudo	30
4.2 Equipamento.....	34
4.3 Análise de Resultados.....	42
4.3 Medidas Propostas.....	59
5. CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

ANEXO A A

ÍNDICE DE FIGURAS

Índice

Figura 2.1 – Distribuição do consumo em volume pelos sectores urbano, agrícola e industrial em Portugal no ano 2000	6
Figura 2.2 – Estimativa da distribuição do consumo urbano de água total em Portugal no ano 2000	6
Figura 2.3 – Ineficiência nacional no uso da água por sector	6
Figura 2.4 – Estrutura do consumo doméstico de água (adaptado de Almeida <i>et al</i> , 2006) ...	14
Figura 4.1 - Vista da Escola Sede Martim de Freitas (GoogleEarth, 13.6.2012).....	31
Figura 4.2 – Válvula Termoestática misturadora de água fria/água quente	32
Figura 4.3 – Autoclismo (marca Kariba).....	32
Figura 4.4 – Autoclismo (marca Oli)	32
Figura 4.5 – Mictório.....	33
Figura 4.6 – Chuveiros dos balneários dos alunos	33
Figura 4.7 – Lavatório	34
Figura 4.8 – Válvula redutora de pressão à entrada da rede.....	35
Figura 4.9 – Contador da marca SEKO.....	36
Figura 4.10 – VRP e transdutor de pressão instalados na IC	37
Figura 4.11 - Princípio de funcionamento da VRP (CALEFFI@, 2013).....	38
Figura 4.12 – Funcionamento da VRP quando há consumo (CALEFFI@, 2013).....	38
Figura 4.13 – Funcionamento da VRP quando não há consumo (CALEFFI@, 2013).....	39
Figura 4.14 – <i>Datalogger</i> fornecido e instalado pela ISA	39
Figura 4.15 – Página da plataforma iWater da ISA para consulta das pressões.....	40
Figura 4.16 – Página da plataforma iTelemetry da ISA para consulta dos consumos e caudais	40
Figura 4.17 – Exemplo de tabela com as pressões registadas	41
Figura 4.18 – Exemplo de tabela com o registo da leitura do contador e do caudal	41
Figura 4.19 – Identificação de anomalias	42
Figura 4.20 – Exemplo de flutuações da rede sem consumo.....	43
Figura 4.21 – Canalização em adiantado estado de degradação.....	43

Figura 4.22 – Esquema da canalização dentro do pavilhão.....	44
Figura 4.23 - Distribuição exemplificativa dos consumos ao longo de um dia.....	48
Figura 4.24 – Variação dos consumos às 6 ^{as} feiras para uma pressão de 3,0 bar.....	49
Figura 4.25 – Variação dos consumos às 3 ^{as} feiras para uma pressão de 2,5 bar.....	49
Figura 4.26 – Variação dos caudais vs pressão para as 3 ^{as} feiras para as pressões de 3,0, 2,5 e 2,0 bar	50
Figura 4.27 – Curva de ajuste para os chuveiros 1-4 do balneário masculino	52
Figura 4.28 – Curva de ajuste para os chuveiros 5-8 do balneário masculino	53
Figura 4.29 – Curva de ajuste para as torneiras 1-4 do balneário masculino	54
Figura 4.30 – Curva de ajuste para os chuveiros 1-4 do balneário feminino	55
Figura 4.31 – Curva de ajuste para os chuveiros 5-8 do balneário feminino	56
Figura 4.32 – Curva de ajuste para as torneiras 1-4 do balneário feminino	57
Figura 4.33 – Curva de ajuste para os balneários dos docentes e funcionários.....	58
Figura 4.34 – Comparação do caudal vs pressão para o período nocturno (P=2,0 bar, 2,5 bar, 3,0 bar).....	58

ÍNDICE DE QUADROS

Índice

Quadro 2.1 – Valores dos caudais unitários de água para instalações desportivas	9
Quadro 2.2 – Valores dos caudais unitários de água para instituições de ensino.	10
Quadro 2.3 – Valores dos caudais unitários de água para edifícios de serviços e escritórios..	11
Quadro 2.4 – Valores dos caudais unitários de água para instalações hoteleiras.....	12
Quadro 2.5 – Classificação de autoclismos em termos de uso eficiente da água no sistema de rotulagem australiano.	15
Quadro 2.6 – Classificação de chuveiros em termos de uso eficiente da água no sistema de rotulagem australiano	16
Quadro 3.1 – Comparação das 4 situações (1), (2), (3), (4)	22
Quadro 4.1 – Características do contador.....	36
Quadro 4.2 – Consumos ao longo do dia para as pressões (P1=3 bar, P2=2 bar e P3=2,5 bar	45
Quadro A.1 – Caudais nos vários dispositivos para o balneário masculino.....	A1
Quadro A.2 – Caudais nos vários dispositivos para o balneário feminino.....	A2
Quadro A.3 – Caudais nos vários dispositivos para os balneários dos docentes e funcionários	A3

ABREVIATURAS

AVAC- Sistemas de Arrefecimento Ventilação e Ar Condicionado

IC – Instalações Colectivas

INAG – Instituto Nacional da Água

ISA - *Intelligent Sensing Anywhere, S.A*

MAOT – Ministério do Ambiente e do Território

PNA – Plano Nacional de Água

PNUEA – Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água

RGSPDADAR - Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais

USAID – United States Agency for International Development

VRP- Válvula Redutora de Pressão

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e Relevância do Tema

Nos últimos anos, a escassez de água no mundo tem sido uma problemática cada vez mais discutida, pelo que se pretende encontrar formas de minimizar as suas consequências nefastas. A água potável disponível para o consumo humano é cerca de 1% da água existente no mundo; tendo em conta que o planeta tem 7 biliões de habitantes, a consciencialização para o uso eficiente da água tem que aumentar a cada dia que passa. Em muitos casos, o desperdício de água por parte da população é grande, não só devido à falta de consciência em termos da sua utilização, como também devido ao facto de não sentirem a escassez de água. Existem vários factores, que contribuem para a escassez e má utilização da água. O aumento da população mundial e, conseqüentemente, o aumento da urbanização das cidades, o desenvolvimento económico e a melhoria do estilo de vida das populações, são factores que podem contribuir para esta escassez. Outro factor a ter em conta são as alterações climáticas como consequência do aquecimento global, cada vez mais imprevisíveis e inconstantes, tornando os períodos de seca mais severos e fora de época.

É importante ter em conta que a água no mundo não tem uma distribuição uniforme, tornando as necessidades diferentes em cada local. Tomem-se os exemplos da China e da Índia que são dois países com necessidades hídricas completamente distintas. A China, por um lado, teve, nos últimos anos, um crescimento elevado não só a nível populacional como também industrial, o que levou a que as suas necessidades de água se focassem na indústria, enquanto a Índia, por outro lado, é um país historicamente com dificuldades hídricas devido ao seu clima, necessitando de água maioritariamente para o uso agrícola. Em Portugal, na maior parte do território continental, a escassez de água não é um problema que se faça sentir, excepto em períodos de seca severa (como foi o caso do ano de 2005), prejudicando gravemente o país, a economia, a agricultura e, conseqüentemente, todas as outras restantes actividades.

Para combater esta problemática têm que se arranjar soluções rápidas e eficientes, de forma a racionalizar o consumo de água e utilizá-la da forma mais correta e eficiente possível. Quando

se usa a expressão “uso eficiente da água”, significa dar à água uma melhor utilização, evitando desperdícios e rentabilizando ao máximo este recurso.

Um modo de combater esta escassez é através da redução dos consumos dos consumidores finais, o que permite reduzir gastos de exploração (energia), tratamento, etc. (Almeida *et al*, 2006). O PNUEA (APA, 2012) dentro de muitas medidas para o sector urbano preconiza, para o uso eficiente da água, a redução de consumos de água através da utilização de dispositivos e equipamentos mais eficientes e controle de pressões mantendo-a dentro dos limites, entre outras. É essencial uma boa gestão de pressões em redes, uma vez que ao reduzir a pressão de uma rede, está-se a contribuir para o uso eficiente da água.

Os consumos de água das instalações colectivas (IC) representam uma parcela importante do consumo de água do sector urbano. Este tipo de instalações apresenta uma analogia com as instalações residenciais, pois os grandes consumos são nos mesmos dispositivos e equipamentos, mas as IC apresentam maiores consumos devido às suas dimensões, número de pessoas, entre outros factores; no entanto, a informação é reduzida em relação aos consumos nelas efectuadas.

Em instalações colectivas e residenciais, o uso eficiente da água pode ser feito, por exemplo, através de uma redução de pressão nos dispositivos de utilização (torneiras de lavatório e bidé, cabeças de chuveiro mais eficazes) mudança dos autoclismos para os de dupla descarga, mantendo o conforto para os utilizadores e a eficiência dos dispositivos.

Como já foi referido, ao reduzir a pressão estamos a promover o uso eficiente de água. A base desta dissertação é promover o uso eficiente da água em instalações colectivas através da redução das pressões, o que irá afectar (é o que se pretende e espera) os consumos dos dispositivos e equipamentos (como já foi supracitado nas medidas do PNUEA (APA, 2012)). No entanto há que ter em conta não só os valores mínimos e máximos da pressão impostos pelo RGSPPDADAR, como também ter em atenção o bem-estar e conforto dos consumidores.

Um caso curioso é, o que fazer numa situação de escassez? Para o caso de instalações prediais e colectivas uma das medidas recomendadas pela literatura é precisamente a redução de pressões no sistema predial de abastecimento (Alegre *et al.*, 2005).

1.2 Objectivos

O objectivo geral desta dissertação é contribuir para a avaliação da gestão de pressões no uso eficiente de água em Instalações Colectivas com recurso a um sistema de telemetria e transdutores adequados. De forma a cumprir este objectivo geral, definiram-se os seguintes objectivos específicos:

- Identificar e caracterizar as fontes de consumo de água nas Instalações Colectivas;
- Identificar a pressão mínima admissível e confortável na óptica do utilizador;
- Apresentação de caso de estudo;
- Apresentar um conjunto de soluções para o uso eficiente da água.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos.

No presente capítulo (*Introdução*) faz-se um enquadramento do tema destacando a importância da redução de pressões na promoção do uso eficiente da água, e apresentam-se os objectivos a alcançar com este trabalho.

O segundo capítulo (*Usos Prediais de Água*), faz-se uma descrição dos consumos em instalações colectivas e algumas medidas a tomar para o uso eficiente da água.

No capítulo 3 (*Gestão de Pressões em Redes*), é feita um resumo da bibliografia existente não só em termos de redes de abastecimento mas também em redes prediais.

No quarto capítulo (*Caso de Estudo*), é feita uma descrição do caso de estudo, uma análise dos resultados obtidos e apresentam-se algumas medidas a tomar para a instalação colectiva.

No capítulo cinco (*Conclusões*), são descritas as principais conclusões deste estudo.

Por fim, temos as *Referências Bibliográficas*, onde se encontram as fontes bibliográficas que apoiaram este trabalho, e também os *Anexos*, onde se apresentam cálculos relevantes para o estudo.

2. USOS PREDIAIS DE ÁGUA

2.1 Considerações Prévias

No que concerne ao uso de água potável a nível mundial, o consumo industrial (20%) é superior ao consumo doméstico (5-10%) e a agricultura abrange a maior cota, (60-80%). De ano para a ano, a água disponível por pessoa tem vindo a diminuir, sendo que em 1970 era de 12 900 m³, em 2004 de 7 000 m³ e em 2005, 5 100 m³ (Rossa, 2006).

Em regiões de maior densidade populacional, como a Ásia, África e Europa Central e do Sul, a disponibilidade de água por pessoa encontra-se entre os 1200 e 5000 m³ (Rossa, 2006).

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Ambiente (United Nations Environment Programme), até 2025 cerca de 3000 Milhões de pessoas estarão em stress hídrico¹ (Rossa, 2006).

No ano 2000, em Portugal, eram consumidos cerca de 580*10⁶ m³ de água no sector urbano. Este valor representa cerca de 8% do volume total de água consumida nos sectores urbano, agrícola e industrial (INAG, 2001). O consumo de água no sector agrícola é o mais relevante com 87%, sendo que os restantes 5% do consumo total correspondem à actividade industrial (Figura 2.1). No entanto, o mesmo não se passa a nível económico, pois o consumo urbano é o que tem a maior percentagem de custos, devido aos custos associados a todas as fases por que a água passa até chegar ao consumidor final (Alegre *et al.*, 2005).

Dentro dos consumos urbanos, os consumos domésticos, comerciais e públicos correspondem, em média, a 45 %, 40% e 6%, respectivamente, sendo os restantes 40 % relativos a perdas (Figura 2.2).

¹ *Stress Hídrico* associa-se a situações em que a procura é superior à oferta de água, durante um determinado período de tempo. Desta forma, considera-se que quando a disponibilidade anual de água doce renovável per capita se situe abaixo dos 1700 m³, a região sofre periódica ou regularmente de stress hídrico. O desenvolvimento económico, a saúde e o bem-estar são comprometidos para valores abaixo dos 1000 m³.

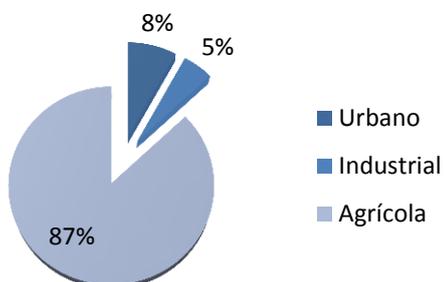


Figura 2.1 – Distribuição do consumo em volume pelos sectores urbano, agrícola e industrial em Portugal no ano 2000

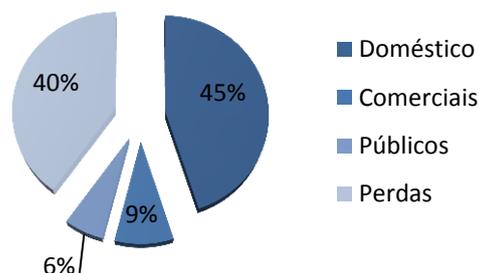


Figura 2.2 – Estimativa da distribuição do consumo urbano de água total em Portugal no ano 2000

Como se pode observar na Figura 2.2 as perdas têm um grande peso na distribuição dos consumos. O PNUEA (APA, 2012) mostra que através da aplicação das medidas dos vários PNUEA's, este valor tem vindo a diminuir (Figura 2.3).

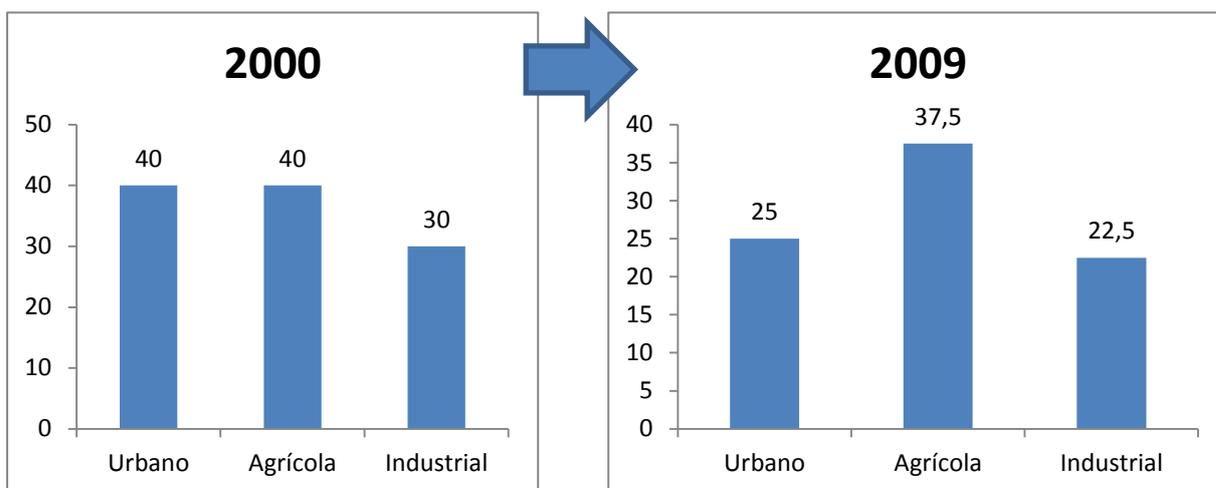


Figura 2.3 – Ineficiência nacional no uso da água por sector

No que se refere aos consumidores, o INAG (2008) classifica-os em dois grupos, os consumidores domésticos e os não – domésticos. Desta forma, consideram-se consumidores não-domésticos os referentes a consumos industriais, de serviços (comércio), públicos e outros.

Os consumos comerciais podem variar de caso para caso, dependendo de factores como o tipo de actividade, o tipo de instalação e a dimensão de cada unidade. Geralmente os consumos são a nível de lojas, sanitários, sistemas de arrefecimento ventilação e ar condicionado (AVAC) e regas.

Em Portugal, em média, o consumo doméstico diário *per capita* é cerca de 160 L/(hab.dia) (INAG/MAOT, 2001), valor que se aproxima da média dos países da União Europeia. Nos Estados Unidos da América, pelo contrário, os consumos são bem mais elevados, com valores da ordem dos 400 L/(hab.dia) (Kibert, 2008) e outros próximos dos 650 L/(hab.dia) (Mayer *et al.*, 1999).

Segundo a USAID uma capitação doméstica de 100L/(hab.dia) é o suficiente para uma qualidade de vida razoável (Kibert, 2008). Com valores desta ordem de grandeza, podemos chegar à suposição que existe um potencial para a redução do consumo doméstico de água.

2.2 Consumos de Água em Instalações Colectivas

2.2.1 Enquadramento

Para melhor compreender as instalações colectivas, vamos identificar este tipo de instalações, quais estão incluídas e por fim fazer uma análise dos consumos em cada uma delas separadamente a partir de informação recolhida de vários autores.

Entende-se por IC ou genericamente também chamados de edifícios especiais, segundo Afonso (2001), “edifícios não habitacionais, ligados ao sector terciário ou à indústria, que, pelas suas dimensões ou características, têm exigências particulares de concepção ao nível arquitectónico e/ou das especialidades de engenharia. Estes edifícios traduzem assim soluções ajustadas a finalidades ou situações específicas, o que muitas vezes não torna viável, no dimensionamento das suas redes, a utilização directa de critérios ou modelos desenvolvidos para edifícios correntes. Mesmo nos casos em que o funcionamento das redes apresenta analogias como sector residencial, pode observar-se um significativo acréscimo de complexidade ou dimensão do sistema, o que possibilita (e pode mesmo justificar) o desenvolvimento de novas abordagens para o problema.”

Segundo Alegre *et al.* (2006), podemos incluir nas instalações colectivas as seguintes instalações:

- Hospitais e outros centros de saúde;
- Instalações desportivas (ginásios, piscinas, estádios, etc.);

- Universidades, escolas e creches;
- Aeroportos;
- Terminais rodo e ferroviários;
- Escritórios;
- Centros comerciais;
- Restaurantes e similares;
- Hotéis e similares;
- Lavandarias;
- Posto de gasolina e serviços.

Os consumos que correspondem aos usos da água em instalações colectivas são valores elevados que se associam a ineficiências elevadas, mas que por outro lado também levam a oportunidades de melhoria.

Nas IC os consumos são em instalações sanitárias, balneários, limpeza de instalações, lavagem de roupa e louça, rega de espaços exteriores, bocas-de-incêndio e preparação de alimentos, entre outros (Ferreira, 2009).

2.2.2 Instalações de saúde

Este tipo de instalações tem usos de água muito específicos; sendo o seu consumo influenciado pelo número de doentes hospitalizados e tratados, equipamento utilizado, dimensão da instalação, número e tipos de serviços, idade do edifício e exigências de manutenção (Ferreira, 2009).

Segundo Afonso (2001) o consumo médio global é de 750 l/cama para um caso de estudo realizado nos Hospitais da Universidade de Coimbra (1200 camas).

De acordo com vários autores citados em Ferreira (2009) os consumos em instalações de saúde pode variar entre 250 a 1000 l/(cama.dia).

De acordo com o Sá Marques e Sousa (2008), o consumo em hospitais e clínicas com internato é de 800L/cama.

2.2.3 Instalações desportivas

Neste tipo de IC podem considerar-se complexos e centros desportivos, pavilhões, ginásios, estádios de futebol, campos de golfe, piscinas, entre outros (Ferreira, 2009).

Os maiores usos de água nestas instalações são nas instalações sanitárias e balneários, nas cantinas/cafés, na limpeza de pavimentos, na lavagem de roupa e de louça e nas piscinas interiores. Nos usos exteriores há que ter em atenção as regas, lavagem de pavimentos e veículos, entre outros.

No Quadro 2.1 apresentam-se alguns valores de caudais unitários para este tipo de instalações, segundo vários autores citados em Ferreira (2009).

Quadro 2.1 – Valores dos caudais unitários de água para instalações desportivas

Tipologia	Caudais unitários
Balneários e Serviços Públicos	2 l/(pessoa.dia)
Campos relvados	0.1l/(m ² .dia)
Piscinas Publicas	50 l/(utente.dia)
Campos de Golfe Públicos	30 m ³ /dia

2.2.4 Instalações de ensino

Este tipo de instalações apresenta uma grande variabilidade de consumos devido à constituição própria de cada uma.

Neste tipo de IC, os consumos são nas cozinhas, bares, balneários, instalações sanitárias e salas técnicas. A frequência de utilização dos dispositivos de uso de água é muito intensa, uma vez que o número de utilizadores é muito elevado.

No Quadro 2.2 apresentam-se valores de caudais unitários para este tipo de instalação, de acordo com vários citados em Ferreira (2009).

Quadro 2.2 – Valores dos caudais unitários de água para instituições de ensino.

Tipologia	Caudais Unitários
Escolas e Externatos	50 l/(aluno.dia) ^{(1) (2)}
Escolas	10 l/(aluno.dia) ⁽¹⁾
Escolas	80 l/(aluno.dia) ⁽¹⁾
Escolas com cantina e lavabos	60-75 l/(aluno.dia) ⁽³⁾
Internatos	150 l/(aluno.dia) ^{(1) (2)}
Internatos	280 l/(aluno.dia) ^{(1) (3)}
Semi-internatos	100 l/(aluno.dia) ⁽¹⁾
Escola	125 l/(aluno.dia) ⁽⁴⁾
Escolas	60-135 l/(aluno.dia) ⁽⁵⁾
Residência escolar	225-300 l/(aluno.dia) ⁽⁵⁾
Creches	50 l/(per capita.dia) ⁽⁶⁾
Escolas elementares e secundárias	17 m ³ /dia ⁽¹⁾
Universidades	316 m ³ /dia ⁽⁶⁾
Escolas técnicas	18 m ³ /dia ⁽⁶⁾
Infantários	3 m ³ /dia ⁽⁶⁾
Aluno externo	40l/pessoa ⁽⁷⁾

(1) Afonso (1997)

(2) Macintyre (1982), Crede (19997) e Dacah (1975), que transcrevem os valores indicados pela ABTN, citados em Afonso (2001)

(3) Tchobanoglous, *et al* (2003)

(4) EMABESA (2003)

(5) BCM@ (2003)

(6) Vickers (2001)

(7) Sá Marques e Sousa (2008)

2.2.5 Edifícios de serviços e escritórios

Nestas IC os usos da água são identificados nas instalações sanitárias, nas limpezas, nos AVAC e em certos casos nos refeitórios.

Segundo alguns autores os caudais unitários para este tipo de instalações encontram-se no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Valores dos caudais unitários de água para edifícios de serviços e escritórios

Tipologia	Caudais unitários
Escritórios	50-80 l/(funcionário.dia) ⁽¹⁾⁽²⁾
Escritórios	15 l/(funcionário.dia) ⁽¹⁾
Escritórios	102-170 l/(funcionário.dia) ⁽¹⁾
Escritórios	12 m ³ /dia ⁽⁶⁾
Lojas e Escritórios	9 m ³ /dia ⁽⁶⁾

(1) Afonso (1997)

(2) Macintyre (1982), Crede (19997) e Dacah (1975), que transcrevem os valores indicados pela ABTN, citados em Afonso (2001)

(6) Vickers (2001)

2.2.6 Centros comerciais

A informação relativa aos consumos de água em centros comerciais é reduzida, sendo que os valores são difíceis de contabilizar porque a frequência de utilização varia de hora para hora e de dia para dia.

Segundo Ferreira (2009), os consumos de água são efectuados por zona de actividade, de acordo com as lojas, a restauração/bares e as instalações sanitárias.

Afonso (2001) indica um valor de 100 l/(empregado.dia), Vickers (2001) 27 m³/dia e Ferreira (2009) valores entre os 62 a 826 m³ para os consumos médios diários em centros comerciais.

De acordo com Sá Marques e Sousa (2008) o consumo em é de 10L/lugar de estacionamento e 40L/funcionário.

2.2.7 Instalações hoteleiras

Nas últimas décadas, o turismo tem vindo a aumentar, traduzindo um significativo aumento no consumo da água deste tipo de instalações. Os usos de água são nas cozinhas, instalações sanitárias e limpezas.

No Quadro 2.4 apresentam-se vários valores de caudais unitários para este tipo de instalações.

Quadro 2.4 – Valores dos caudais unitários de água para instalações hoteleiras

Tipologia	Caudais Unitários
Hotel de 1 e 2 estrelas	350 l/(cama.dia) ⁽²⁾
Hotel de 3 estrelas	500 l/(cama.dia) ⁽²⁾
Hotel de 4 e 5 estrelas	800 l/(cama.dia) ⁽⁴⁾
Hotéis	100-300 l/(cama.dia) ⁽⁵⁾
Pensões	190 l/(hóspede.dia) ^{(1) (3)}
Residenciais	120-150 l/(hóspede.dia) ⁽¹⁾
Hotéis de Luxo	1000 l/(hóspede.dia) ⁽¹⁾
Hotéis (categoria média)	500 l/(hóspede.dia) ⁽¹⁾
Hotéis com cozinha e lavandaria	250-350 l/(hóspede.dia) ⁽²⁾
Hotéis sem cozinha e nem lavandaria	120 l/(hóspede.dia) ⁽²⁾
Hotéis Residenciais	190-380 l/(hóspede.dia) ⁽³⁾
Albergues	150-300 l/(hóspede.dia) ⁽¹⁾
Hotéis (quarto c/banheira)	230 l/(quarto.dia) ⁽¹⁾
Hotéis (quarto s/banheira)	70 l/(quarto.dia) ⁽¹⁾
Hotéis	1157-1985 l/(quarto.dia) ⁽¹⁾
Hotéis e Motéis	54 m ³ /dia ⁽⁶⁾

(1) Afonso (1997)

(2) Macintyre (1982), Crede (19997) e Dacah (1975), que transcrevem os valores indicados pela ABTN, citados em Afonso (2001)

(3) Tchobanoglous, *et al* (2003)

(4) EMABESA (2003)

(5) BCM@ (2003)

(6) Vickers (2001)

2.2.8 Outras instalações colectivas

Existem ainda mais IC que não foram descritas, tais como aeroportos, cinemas e teatros (segundo Afonso (1997), o consumo é de 2L/ (lugar.*sessão)), instalações de divertimento e recreação, parques de diversões, mercados, prisões (segundo Afonso (1997), o consumo é de 650L/ (preso.*dia)), quartéis militares, lavandarias, restaurantes, lojas, entre outros, cujos autores supracitados indicam alguns valores de caudais para este tipo de IC.

2.3 Medidas para a promoção do uso eficiente da água

Como já foi referido, o PNUEA (APA, 2012) e outros documentos (como por exemplo Almeida *et al* (2006), INAG (2001)) visam a melhoria do uso da água; a nível geral dos sistemas prediais de abastecimento, Almeida *et al* (2006) propuseram um conjunto de medidas com vista ao uso eficiente da água:

Redução de pressões no sistema predial de abastecimento: controlar as pressões de modo a garantir as pressões mínimas regulamentares e evitar pressões exageradas, permite reduzir a ocorrência de perdas e melhorar o uso eficiente da água. Valores exagerados de pressões contribuem para um maior consumo de água. Pressões altas estão associadas a mau funcionamento ou avaria de equipamentos. Como podemos aplicar esta medida? Através da instalação de válvulas redutoras de pressão, com um manómetro. Esta medida é de fácil aplicação, não tem limitações, no entanto não conseguimos prever quanto podemos poupar devido a uma grande variabilidade de situações.

Isolamento térmico do sistema de distribuição de água quente: o isolamento das tubagens feito com materiais metálicos (bons condutores de calor) é importante na redução do desperdício de água corrente. Esta medida deve ser aplicada em fase de construção ou de renovação, sendo que os seus benefícios são a redução do consumo de água e na consequente produção de águas residuais e no consumo de energia no aquecimento de água. Contudo, também não é possível prever a poupança, pois há uma grande variedade de situações.

Reutilização ou uso de água de qualidade inferior: existem casos em que é possível ter fontes alternativas de água. Também se podem reutilizar as águas cinzentas² ou fontes de águas alternativas para a substituição da rede pública de abastecimento, no entanto só se pode usar estas águas para usos exteriores. Esta medida tem uma série de limitações, algumas dificuldades de aplicação, mas tem benefícios, tais como a redução do consumo de água e da produção de águas residuais.

Redução de perdas de água no sistema predial de abastecimento: a implementação de um programa de detecção, localização e eliminação de perdas resultantes das fugas, é uma medida eficaz na eficiência do uso da água. O potencial de poupança é significativo.

² Águas cinzentas são aquelas provenientes de banheiras, chuveiros, bidés ou lavatórios

As instalações residenciais, colectivas e similares têm dispositivos que são uma grande parcela do consumo doméstico tais como autoclismos (31%), duches/banho (37%), torneiras (16%), máquinas de lavar roupa (9%), máquinas de lavar louça (2%) e perdas (5%) (Figura 3.1). Para este tipo de instalações as medidas são (Almeida *et al*, 2006):

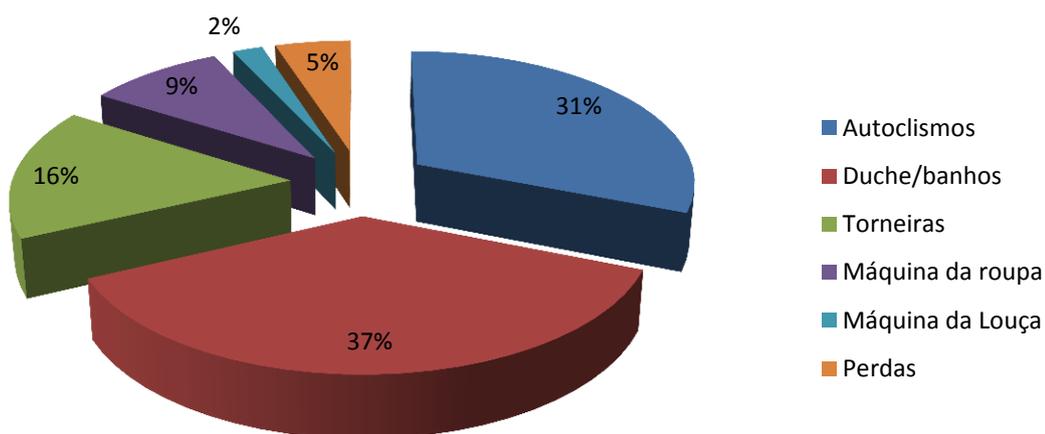


Figura 2.4 – Estrutura do consumo doméstico de água (adaptado de Almeida *et al*, 2006)

Autoclismos

O uso dos autoclismos tem um consumo muito significativo nos consumos domésticos, no entanto, o gasto de água associado a este dispositivo nem sempre provém das descargas das necessidades fisiológicas, mas também aos usos para descargas de resíduos sólidos (restos de comidas, entre outros) e fugas. A utilização de autoclismos com volumes inferiores a 6 L já é uma prática muito corrente e eficiente. Em Portugal são comercializados autoclismos de dupla descarga (9/3, 9/4, 7/3, 7/4, 6/3, 6/4); com este sistema e uma boa utilização poder-se-ia poupar uma quantidade significativa de água. Alguns países, como por exemplo a Austrália, já apresentam uma classificação para autoclismos em função do uso eficiente da água (Quadro 2.5)

Quadro 2.5 – Classificação de autoclismos em termos de uso eficiente da água no sistema de rotulagem australiano

Produto	Unidades	Classificação				
		A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
Autoclismos	L/min	5,5-6,5	4-5,5	3,5-4	2,5-3,5	<2,5

Note-se que em determinadas situações um dispositivo muito eficiente, ou seja, com menores volumes de descarga, pode levar a maiores consumos; por exemplo, um autoclismo 6/3 (com um gasto médio de 3,6 L/min), se não for utilizado de uma forma adequada, isto é, se forem efectuadas duas descargas para cada utilização, pode gastar um maior volume de água.

As medidas que deverão ser adoptadas para o uso eficiente da água a nível dos autoclismos são (Almeida *et al*, 2006):

Adequação da utilização de autoclismos: não deitar lixo na sanita e usar recipientes adequados como baldes do lixo; redução do volume de armazenamento através da colocação no seu interior de garrafas cheias; não fazer descargas desnecessárias; quando possível ajustar o autoclismo à descarga mínima e quando o autoclismo for de dupla descarga, usar a de menor volume, quando adequado. Esta medida é eficaz para o caso tipo de um autoclismo de descarga dupla de 6/3, não deitando lixo na sanita e utilizando a menor descarga para usos sem matéria fecal, apresentando um potencial de redução de 10 m³/ano/fogo, obtendo uma poupança de 20 euros ao fim de um ano. É uma medida fácil de aplicar, no entanto, para o caso de instalações colectivas, tem que haver uma sensibilização dos utentes para que esta medida tenha os efeitos pretendidos.

Substituição ou adaptação de autoclismos: substituir o autoclismo convencional por um de menor volume (4, 6, 7 e 9 L) ou por um de dupla descarga (9/3, 9/4, 7/3, 7/4, 6/3, 6/4). Esta medida, utilizando um caso de substituição de um autoclismo convencional de 10 L por um de dupla descarga de 6/3, poderá ter um impacto de 60% de redução de consumo de água, permitindo uma poupança 54 euros/ano/fogo.

Utilização de bacias de sanitas sem uso de água: o uso desta tecnologia iria reduzir drasticamente o uso de água, pois este iria ser nula nos autoclismos. Esta medida só é utilizada em casos particulares e requer um estudo prévio. Temos as bacias de sanitas com compostagem, com incineração e bacias de retrete química. Com esta medida pode-se obter uma poupança de 100% de água.

Utilização de bacias de retrete por vácuo: esta medida reduz o volume de água associado às descargas. Esta medida é uma boa prática para instalações colectivas por ter muitos pontos de utilização. É uma medida cara, mas se for aplicada pode-se ter uma eficiência de 80%.

Chuveiros

Os banhos também representam uma componente importante nos consumos de água, sendo influenciados por vários factores, tais como o caudal do chuveiro, a duração do banho (tempo estimado entre 5 e 15 minutos) e o número de banhos por dia. Segundo a norma EN 1112:2001 as saídas dos chuveiros são classificadas em 6 classes de débito (entre 7,2 L/min e 38 L/min, a uma pressão de 300 kPa). A Austrália tem uma classificação para as saídas dos chuveiros em função do uso eficiente da água (Quadro 2.6).

Quadro 2.6 – Classificação de chuveiros em termos de uso eficiente da água no sistema de rotulagem australiano

Produto	Unidades	Classificação				
		A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
Chuveiros	L/min	12-15	9-12	7,5-9	6-7,5	<6

As medidas que podem ser tomadas a nível dos chuveiros para um melhor uso eficiente da água são (Almeida *et al*, 2006):

Adequação da utilização de chuveiros: utilização de duche, em vez de banho de emersão; duches curtos (não superior a 5 minutos); desligar a água durante o ensaboamento; também se pode aproveitar a água fria do duche (enquanto não aquece) para rega de jardins e outros fins. Em instalações colectivas considerar apenas a opção do duche; neste tipo de instalações tem que haver uma grande sensibilização dos utentes, no que toca à duração dos duches e do fecho da água aquando do ensaboamento. Para um caso em que se reduza o tempo de duche de 10 para 5 minutos, tem-se uma eficiência de 50%, que se traduz numa poupança de 85 euros/pessoa.

Substituição ou adaptação de chuveiros: substituir o chuveiro convencional por um mais eficiente (sempre que possível); instalar no chuveiro convencional arejadores, redutores de pressão ou válvulas de seccionamento; em instalações colectivas optar por um temporizador; utilizar torneiras monocomando, misturadoras ou termostáticas. Neste tipo de medida com a

substituição um chuveiro convencional de 12 L/min por um de 9 L/min, pode-se ter uma eficiência de 25% e uma poupança de 130 euros/ano/habitação.

Torneiras (lavatório, bidé, banheira e lava-louça) (Almeida *et al*, 2006):

Tal como nos chuveiros existem vários factores que influenciam o consumo das torneiras, como por exemplo, o caudal, a duração de utilização e o número de utilizadores da habitação. As medidas a aplicar neste campo são: adequação da utilização de torneiras, substituição ou adaptação de torneiras. No caso das instalações colectivas a utilização de torneiras com sensor ou com temporizador.

Máquinas de lavar roupa (Almeida *et al*, 2006):

Este tipo de dispositivo não é muito relevante para este estudo pois, normalmente, nas instalações colectivas ou comerciais pois o seu número não é significativo, no entanto as medidas para o uso eficiente da água neste tipo de dispositivos são: adequação de procedimento de utilização de máquina de lavar roupa e substituição de máquinas de lavar roupa convencionais por outras mais eficientes.

Máquina de lavar loiça (Almeida *et al*, 2006):

Existem vários factores que influenciam o volume utilizado por estes aparelhos para cada lavagem. Hoje em dia cada vez mais é prática a utilização de máquinas mais eficientes. Algumas das medidas para o seu bom uso são: adequação de procedimento de utilização de máquina de lavar loiça (utilização da capacidade total da máquina, utilizar programas que proporcionem um menor consumo de água, lavar a loiça na máquina em vez de lavar à mão, entre outras) e substituição de máquinas de lavar loiça.

Urinóis (Almeida *et al*, 2006):

Este tipo de dispositivos são os mais utilizados em instalações colectivas e comerciais. Existem dois tipos de urinóis: os de fluxómetro e os de fluxo contínuo. Analogamente aos outros dispositivos a Austrália tem uma classificação para os urinóis. A EN 12541:2002 define uma gama de valores para descargas entre 0,75 e 6 L. A redução do desperdício de água nestes dispositivos pode ser feito através de instalação de, sistemas automáticos para descarga após utilização, instalação de modelos mais eficientes instalação de modelos que não necessitem de água.

As medidas aplicáveis para estes dispositivos são:

Adequação da utilização de urinóis: a regulação do volume, frequência e duração das descargas pode diminuir o caudal ou o volume de água utilizada.

Adaptação da utilização de urinóis: a instalação de sistemas automáticos ou seja de infravermelhos, sensores de líquidos, entre outros.

Substituição de urinóis: substituição dos urinóis convencionais por uns mais eficientes.

Sistemas de aquecimento e refrigeração do ar

Para o caso de instalações colectivas e comerciais estes dispositivos têm um impacto ainda significativo no consumo de água. Existem algumas medidas para um uso mais eficiente tais como a redução de perdas e consumos neste tipo de sistemas.

Ao nível dos usos exteriores podem ser implementadas medidas para um uso eficiente da água em relação a *jardins e similares*: adequação da gestão da rega, adequação da gestão do solo, adequação da gestão das espécies plantadas, substituição ou adaptação de tecnologias de rega, utilização da água da chuva e utilização de água residual tratada similares (Almeida *et al*, 2006).

3. GESTÃO DE PRESSÃO EM REDES

3.1 Considerações Iniciais

“ A gestão de pressões é uma medida básica para a redução de perdas reais de água” (Alegre *et al.*, 2005).

O PNUEA (APA, 2012) tem como uma das medidas para os sistemas públicos (urbanos), a redução dos consumos de água através do controle de pressões no sistema de distribuição pública, mantendo-a dentro dos limites; para os sistemas prediais e IC aplica-se a mesma medida, efectuando-se um controlo de pressões que permita uma redução de consumo de água.

Na secção seguinte apresentam-se alguns casos de estudo em que uma adequada gestão de pressão leva a uma diminuição dos consumos.

3.2 Gestão de Pressões em Redes de Abastecimento

“A gestão de pressões tem impacto na redução de perdas de água, consumo de água e energia e na frequência de roturas “ (Alegre *et al.*, 2005), sendo uma componente essencial da gestão e uso eficiente da água no sector urbano.

Segundo Marunga *et al.* (2006), na cidade de Mutare, no Zimbabwe (país subtropical, situado a sul/centro de África), foi investigado o potencial para a redução de fugas através da gestão de pressões. A população no Sul de África está a crescer muito rapidamente e a região está a começar a sofrer de stress hídrico (600 hab/1000000 m³ de água), sendo esperado um aumento da população para o dobro em 2025. Ramsey e Mobbs (2001), citado em Marunga *et al.* (2006) observaram que o nível de água não contabilizada neste país é mais de 70%. A situação piora devido às condições socioeconómicas do país, onde metade da população vive abaixo do limiar de pobreza. Sob tais circunstâncias, é cada vez mais caro procurar e desenvolver novas fontes de água, sendo a gestão da procura de água a solução mais usual e

mais actual para a escassez de água. Existem três fontes de água no Mutare, que são os Lagos Odzami e Smallbridge, e o rio Pungwe, sendo que a água chega por gravidade para o único tratamento a que é submetida. A pesquisa foi conduzida em três locais, Chikanga 1, Fase 1 e Fase 2, em que a Fase 1 tem 1522 propriedades e a Fase 2 tem 735. O consumo nestas duas zonas é puramente doméstico. O estudo foi feito entre Novembro de 2004 e Abril de 2005. O modelo hidráulico usado neste estudo foi o Epanet 2.0, (modelo usado para a distribuição de pressões em zonas de diferentes caudais e pressão e fazendo variar a pressão). A base da procura dos nós foi calculada com um consumo base de 1 m^3 por propriedade e por dia. O Epanet foi usado também para determinar a pressão mínima da válvula redutora de pressão, para uma pressão mínima residual de 10 m. A medição da pressão variou, durante a experiência, de 11 a 30 de Abril de 2005. A válvula redutora de pressão esteve completamente aberta de 11 a 19 de Abril, e a pressão nocturna variou entres 75 e 80 metros. A pressão da válvula teve que ser ajustada para os 40 metros no dia 29 de Abril. Quando se reduz a pressão em 35% de 77 m para 50 m o resultando é uma poupança de 1 l/s, o que se traduz em $72 \text{ m}^3/\text{dia}$ – portanto há uma economia satisfatória reduzindo a pressão. Através do teste do balde, as propriedades no ponto mais baixo, apesar da baixa pressão, não apresentaram reclamações, no entanto quando a pressão da válvula redutora estava nos 30 metros, as habitações no ponto mais alto apresentaram queixas (pois não havia água nos momentos de mais procura), mas quando a pressão subia para 40 m, a situação era perfeitamente normal. Chegou-se à conclusão que a pressão devia estar compreendida entre os 40 e 50 metros, no entanto a pressão igual a 50 m era o valor mínimo ideal. Neste estudo as perdas de águas encontradas foram roturas/fugas e medições por defeito. Uma redução de 35% de pressão na fase 2 implicou uma redução de 25% em fugas.

Segundo Pérez *et al.* (2001) desenvolveu-se uma matriz para detectar eventuais fugas, com base na pressão e na análise de sensibilidade à pressão dos nós de uma rede. Este método foi utilizado na rede de água de Barcelona, em vários distritos, usando o simulador PICCOLO.

Segundo Ulanicki. *et al.* (2000), o controlo da pressão é uma das formas de reduzir fugas nas sub-redes, e de reduzir também fugas adicionais através de suaves variações de pressões. A redução da pressão também é importante para a redução de fugas já existentes, reduz também a possibilidade (ou outra palavra) de rotura dos tubos (reduz a perda de água e o custo de reparação da rotura dos tubos). Historicamente, as redes não têm controlo activo de pressões e há uma margem para reduzir as fugas através da redução do excesso de pressão. Existem as chamadas áreas de gestão de pressão (PMAs), em que existe uma reestruturação das redes . Os limites das PMAs são normalmente fechados, excepto para entradas via válvulas redutoras de pressão, sendo que estas promovem um controlo automático da pressão para uma série de pressões a montante. Normalmente as PMAs só têm uma entrada com válvula redutora de

pressão, no entanto podem ter um número significativo (entre 2-4 válvulas). Uma empresa lançou uma válvula de malha aberta que podemos configurar para ter uma monitorização 24h. Neste estudo usaram-se 3 válvulas redutoras e pressão e 2 pontos alvo. Chegou-se à conclusão que se conseguia reduzir as fugas em 50% em relação ao valor inicial.

Dias *et al.* (2006) comparou o desempenho de um sistema de distribuição de água para 4 cenários diferentes. Os cenários em estudo foram: (1) sistema de distribuição sem VRP, (2) VRP com carga a jusante constante, (3) VRP com perda de carga constante, (4) VRP com perda de carga variável no tempo. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 3.1. A conclusão a que se chegou foi que o sistema de distribuição com VRP com perda de carga variável no tempo é a que tem melhor funcionamento em comparação a todos os estudos, no entanto é a que tem maior custo associado.

Quadro 3.1 – Comparação das 4 situações (1), (2), (3), (4)

	Sistema de distribuição sem VRP (1)	VRP com carga a jusante constante (2)	VRP com perda de carga constante (3)	VRP com perda de carga variável no tempo (4)
Desempenho global do sistema de distribuição em termos de pressão	- 74% ao longo das 24 horas - cerca de 70% do caudal é distribuído com desempenho menor que 75% (por que há pressões altas)	- 88% ao longo das 24 horas - 90% do caudal é distribuído com desempenho superior a 75% - melhoria de 14%	- 86% ao longo das 24 horas - 90% do caudal é distribuído com desempenho superior a 75% - 2% pior do que em (2)	- 89% ao longo das 24 horas - não apresenta melhorias superiores a 0,5% relativamente a (2)
Indicador de flutuação de pressão (valor médio)	- 96% ao longo das 24 horas	- 98% ao longo das 24 horas	- 97% ao longo das 24 horas (1% pior do que o anterior)	- 98% ao longo das 24 horas
Indicador de velocidades (valor médio)	- 68% ao longo das 24 horas	- 68% ao longo das 24 horas	- 67% ao longo das 24 horas	- 68% ao longo das 24 horas
Perdas de água	- 29% ao longo das 24 horas	- passa de 29% para 21% do volume total distribuído	- passa para 22% do volume total distribuído	- menores do que 21%

Segundo Yazbeck Filho *et al* (2005), as perdas físicas de um sistema de abastecimento representam uma percentagem significativa do volume de água produzido e distribuído; este estudo baseia-se na minimização das perdas físicas numa rede de distribuição de água através do controle de pressões, com o emprego de válvulas redutoras de pressão e algoritmos genéticos. As perdas num sistema podem ser divididas em perdas físicas e não físicas; as físicas estão relacionadas com os volumes perdidos na captação, adução, armazenamento e distribuição de água; as perdas não físicas estão relacionadas com os volumes não facturados. Vários factores afectam as perdas, tais como, o estado e qualidade dos tubos, as características do solo, a pressão da rede (a pressão é um dos factores que afecta as perdas e que pode ser controlado). Foram colocadas três válvulas, chegando-se à conclusão que a válvula 1 é a que apresenta maior grau de fechamento; observa-se também que as três válvulas tendem a fechar quando a procura é mínima. O estudo revelou que o total de perdas físicas diárias sem válvula é de 2,918 m³ e com a colocação das válvulas reduziu-se para 1,914 m³, representando uma redução no volume de 34,40% para as 24 horas.

Reis e Cheung (2006) fizeram uma revisão bibliográfica sobre a redução de fugas através de válvulas redutoras de pressão (VRP's). Sabe-se que as fugas são função das pressões que existem dentro dos tubos de distribuição. Este artigo recomenda que o modelo de Hazen – Williams seja substituído pela fórmula universal de perda de carga (para os resultados serem mais conclusivos). Chegaram à conclusão que a abertura das VRP's ou a sua modulação são indiferentes para o efeito da redução de fugas.

Yazbeck Filho (2003) abordou a minimização das perdas físicas numa rede de distribuição de água através do controle de pressões com válvulas redutoras de pressão e a utilização de algoritmos genéticos. As perdas aumentam com o aumento da pressão média e a curva (pressão em função das perdas) acentua-se quando as pressões são altas; as opções para a redução da pressão são o estabelecimento de zonas de pressão, redução de pressão e válvulas redutoras de fluxo. As válvulas podem ser colocadas numa rede de distribuição de água para manter as pressões que sejam as estabelecidas e minimizar as perdas físicas. Para a rede exemplo 1 (rede de pequeno porte) houve uma redução de 48,89% no volume de perdas, com a utilização de válvulas redutoras. Para a rede exemplo 2 houve uma redução de 34,40 % no volume. Tanto numa rede como noutra as pressões estabilizaram nos 30 metros de coluna de água. Pressões excessivas podem produzir um nível de perdas físicas de água (explicar o que é isto de rede exemplo 1 rede exemplo 2).

3.3 Gestão de Pressões em Redes Prediais

3.3.1 Introdução

Nos sistemas prediais o abastecimento é feito normalmente pela rede pública; quando esta não existe pode recorrer-se à captação de águas em poços ou através de furos. Os sistemas prediais que são abastecidos pela rede pública terão de ser obrigatoriamente independentes de outros sistemas de abastecimento com origem diferente.

Existem 3 tipos de alimentação de redes prediais: directa, indirecta e soluções mistas. Na alimentação directa a ligação é feita directamente à rede pública de distribuição de água, utilizando ou não um sobressor. Na alimentação indirecta a ligação é feita indirectamente através de reservatórios onde a água é acumulada através da água vinda da rede de distribuição. Nas soluções mistas a ligação poderá ser feita recorrendo à utilização de patamares de pressão (Pedroso, 2000).

Tradicionalmente, o dimensionamento de rede de distribuição implicava um nível de pressão mínima, para a situação mais adversa de consumos e pontos mais difíceis. Segundo o RGSPDADAR, Artigo 21.º, alínea e), “a pressão de serviço em qualquer dispositivo de utilização predial para o caudal de ponta não deve ser, em regra, inferior a 100 kPa o que, na rede pública e ao nível do arruamento, corresponde aproximadamente a:

$$H = 100 + 40n \quad (1)$$

onde H é a pressão mínima (kPa) e n o número de pisos acima do solo, incluindo o piso térreo; em casos especiais, é aceitável uma redução daquela pressão mínima, a definir, caso a caso, em função das características do equipamento”.

O RGSPDADAR também refere uma pressão máxima e uma variação de pressão máxima, que de acordo com o Artigo 21.º, alíneas c) e d), “ a pressão máxima, estática ou de serviço, em qualquer ponto de utilização não deve ultrapassar os 600 kPa medida ao nível do solo” e “não é aceitável grande flutuação de pressões em cada nó do sistema, impondo-se uma variação máxima ao longo do dia de 300 kPa”.

Se não for feita uma gestão de pressões em redes (activa), tem-se pressões superiores ao que se necessita durante alguns períodos de tempo, em que o consumo é inferior. Durante a noite o consumo é muito pequeno comparado com o período diurno, o que faz que a pressão à noite

amente, não sendo necessário. Poder-se-ia então reduzi-la ainda mais do que durante o período diurno.

Segundo Alegre *et al.* (2005), “a gestão de pressões apresenta um grande potencial para a redução de perdas de água, incluindo a redução do número de roturas, e permite uma melhor gestão dos consumos”.

A concepção e implementação de um sistema de gestão de pressões devem ser feitas de uma maneira integrada e faseada, sendo necessários os seguintes requisitos: a garantia das pressões mínimas e máximas em qualquer ponto do sistema e influência da topografia; a estabilidade da pressão na rede de distribuição; a garantia dos caudais de incêndio; a garantia dos caudais e pressões em edifícios altos e em instalações industriais; a relação entre a pressão e caudais em fugas existentes e efeitos na redução do caudal de perdas e na taxa de ocorrência de novas fugas ou roturas; o efeito na redução do consumo em dispositivos sujeitos à pressão do sistema público; a previsão dos efeitos da gestão de pressões sobre perda de facturação; a garantia do enchimento eficiente dos reservatórios em período nocturno; a garantia de condições e o estabelecimento dos procedimentos para evitar o funcionamento deficiente das válvulas reductoras de pressão (Alegre *et al.*, 2005).

3.3.2 Expressões matemáticas

A pressão e o caudal relacionam-se directamente e existem várias equações que relacionam estas duas variáveis, tais como as equações de *Hazen-Williams*, *DarcyWeisbach*, *Colebrook-White* e *Torricelli*, entre outras (são as mais referenciadas pela literatura).

- Equação de Hazen – Williams

$$q_i = \frac{C_i D_i^{2,63} H_i^{0,54}}{10,643^{0,54} L_i^{0,54}} \quad (2)$$

em que, q_i representa o caudal (m^3/s); D_i o diâmetro do tubo (m), L_i o comprimento do tubo (m); H_i a perda de carga (m); C_i o coeficiente de *Hazen-Williams* do tubo. Como há elementos que não dependem do caudal e da pressão pode-se escrever:

$$q_i = R_i H_i^{0,54} \quad (3)$$

com

$$R_i = \frac{C_i D_i^{2,63}}{10,643^{0,54} L_i^{0,54}} \quad (4)$$

- Equação de Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5} \quad (5)$$

em que h_f é perda de carga ao longo do comprimento do tubo (m); f é o factor de atrito (adimensional); L é o comprimento do tubo (m); Q é o caudal (m³/s); D é o diâmetro interno da conduta (m); g é a aceleração da gravidade local (m/s²) e $\pi \cong 3,1415$.

- Equação de *Colebrook – White*:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(0,27 \frac{k}{D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (6)$$

onde f é o factor de atrito (adimensional); k é a rugosidade equivalente da parede do tubo (m); D é o diâmetro interno da conduta (m) e Re = Número de Reynolds (adimensional).

- Equação de *Torricelli*:

Esta fórmula é deduzida do Teorema de *Bernoulli*, a qual possibilita a determinação da velocidade dum jacto de água na sua saída através dum orifício de um reservatório para a atmosfera.

$$\frac{P_y}{\gamma} + Z_y + \frac{v_y^2}{2g} = \frac{P_x}{\gamma} + Z_x + \frac{v_x^2}{2g},$$

como

$$\frac{P_y}{\gamma} = \frac{P_x}{\gamma} = 0,$$

vem,

$$Z_y = Z_x + \frac{v_x^2}{2g},$$

e,

$$Z_y - Z_x = \frac{v_x^2}{2g},$$

pelo que,

$$v_x = \sqrt{2gH},$$

ou ainda,

$$Q = C_d A \sqrt{2gH} \quad (7)$$

em que Q é o caudal (m^3/s); C_d é o coeficiente de descarga (varia de 0 a 1) e A é a área da conduta.

Almeida *et al* (2006) referem que para haver uma boa gestão de pressões em redes é fundamental conhecer bem e compreender o seguinte:

$$Q_{final} = Q_{inicial} \times \left(\frac{P_{final}}{P_{inicial}} \right)^n \quad (8)$$

onde, Q_{final} é o caudal de perdas após redução da pressão (m^3/s); $Q_{inicial}$ é o caudal de perdas antes da redução de pressão (m^3/s); P_{final} é a pressão final após redução (m); $P_{inicial}$ é a pressão inicial anterior à redução (m) e n é um expoente que varia entre 0,5 e 1,5.

3.4 Benefícios e Problemas Associados à Gestão de Pressões

Existem vários benefícios e problemas associados à gestão de pressões em redes. Os principais benefícios são (Alegre *et al*, 2005):

Redução do caudal de perdas

Como foi descrito nas equações anteriores, existe uma relação directa entre o caudal de perdas e a pressão; reduzir a pressão vai ser significativo para a redução de pequenas fugas.

Redução do consumo em dispositivos sujeitos à pressão do sistema público

As entidades gestoras de sistemas públicos de abastecimento de água controlam muito cuidadosamente as pressões, tanto na concepção do sistema como também na operação e manutenção. Esse controlo deve permitir garantir em toda a rede pressões acima do mínimo regulamentar e, ao mesmo tempo, não exceder pressões elevadas escusadas. A redução de pressões pode ser usada em situações de falta de água como medida de emergência (há no entanto que evitar reduções excessivas).

Melhoria da estabilidade da pressão na rede

Baixas pressões podem originar caudais insuficientes ou fazer com que os equipamentos não funcionem, enquanto que altas pressões podem resultar em reverberação de condutas, mau funcionamento de aparelhos e dispositivos para aquecimento de água ou avarias em aparelhos por ser ultrapassado a pressão para o seu bom funcionamento. Deste modo, estabilizar pressões leva necessariamente a uma melhoria da qualidade do serviço prestado.

Protecção do estado estrutural da rede e redução do número de novas roturas

Ocorrência de pressões altas e flutuações diárias significativas de pressão são manifestamente causas importantes para a debilitação das infra-estruturas e de aumento da taxa de roturas, reduzindo assim o tempo de vida útil das redes. Existem outros factores que também são determinantes.

Lambert (2001) e Farley e Trow (2003), citados em Alegre *et al.* (2005), apresentam dados de diferentes sistemas que são ilustrativos do impacte da pressão excessiva sobre a frequência de roturas: na Austrália, a redução em 40% na pressão num sector de uma cidade resultou na redução da frequência de novas roturas em 55%; em Auckland (Nova Zelândia), a redução na pressão média de 71m para 54m, num sistema de distribuição, resultou na redução da frequência de roturas para o valor mais baixo observado em 8 anos; em São Paulo (Brasil), a aplicação da gestão da pressão em 8 sectores com 140 km de condutas resultou numa redução da frequência de roturas de 155 por mês para 95 por mês.

A diminuição de novas fugas é o resultado mais evidente duma adequada gestão de pressões em redes.

Garantia dos caudais de incêndio

A garantia dos caudais de incêndio pode vir a ser melhorada com uma boa gestão de pressões em redes. Se um sistema não tiver um sistema activo de pressões, o caudal necessário para o combate aos incêndios pode não ser salvaguardado, mesmo que se registe uma pressão suficiente. Um bom sistema de controlo de pressões tem que ter em consideração a garantia dos caudais de incêndio.

Os principais problemas associados à gestão de pressões são:

Perda de facturação

O balanço entre a diminuição do caudal de perdas e a redução no consumo apresenta-se positivo. Durante o período da noite, quando existem pressões mais elevadas e o potencial de redução da pressão é maior, o consumo é insignificante. Dispositivos como autoclismos e termoacumuladores (ambos têm consumos muito significativos) não dependem da pressão.

Enchimento deficiente dos reservatórios em período nocturno

A redução da pressão durante o período nocturno poderá causar alguns problemas em certos sistemas. Nestes casos, o zonamento da rede deve ser feito tendo em conta a manutenção da pressão das condutas principais. No entanto, se forem usadas condutas de maiores diâmetros para o abastecimento dos reservatórios, a gestão de pressões não causará problemas no enchimento dos mesmos.

Funcionamento deficiente das válvulas redutoras de pressão

Para haver um bom sistema de gestão de pressões é necessário que sejam cumpridos certos requisitos de operação e manutenção das válvulas redutoras de pressão; se estas tarefas não forem bem executadas podem pôr em risco os benefícios pretendidos.

Edifícios altos, instalações industriais e instalações especiais

Para garantir caudais e pressões suficientes neste tipo de instalações, pode-se pôr em causa a redução de pressões, dependendo da configuração do abastecimento.

Por outro lado, existem alternativas para o controlo de pressões:

Sectorização, que recorre a válvulas de forma a estabelecer “andares” de pressão. Os sistemas que são abastecidos por gravidade têm a sectorização relacionada com a topografia, enquanto os que são fornecidos por elevação, a sectorização estará dependente do nível dos reservatórios. A sectorização deve ser feita tendo em conta que tem que garantir a pressão mínima mas também a pressão máxima e a manutenção de um nível de pressões estabilizado.

Válvulas redutoras de pressão (VRP), são acessórios para os quais se tem uma pressão pré-definida a jusante. Existem 4 tipos de válvulas: pressão de saída fixa, pressão de saída modulada por tempo, pressão de saída modulada pelo caudal e pressão de saída modulada por pressão em ponto crítico.

Sobrepessoras, “ Em zonas da rede de distribuição em que se verifiquem pressões deficientes, principalmente nos picos de consumo, pode ser prevista a colocação de uma sobrepessora que permitirá elevar a pressão localmente sem aumentar noutros factores da rede” (Alegre *et al.*, 2005). Devem-se usar bombas de velocidade variável.

Reservatórios e instalações elevatórias, “Os níveis operacionais dos reservatórios devem ser estabelecidos de modo a minimizar as pressões elevadas e a evitar a ocorrência de extravasamentos que podem estar na origem de perdas significativas” (Alegre *et al.*, 2005).

4. CASO DE ESTUDO

4.1 Descrição do Caso de Estudo

Com o objectivo de realizar o presente estudo inicialmente foram contactadas várias IC, como o Grupo Sonae (Coimbra Shopping), Dolce Vita Coimbra, Fórum Coimbra, Escolas Secundárias de Avelar Brotero e da Infanta Dona Maria e Escola Básica do 2º e 3º Ciclos Martim de Freitas. Em relação a algumas delas não se obteve nenhuma resposta, outras como o Coimbra Shopping e Dolce Vita Coimbra apresentam já medidas para um uso eficiente da água a nível de torneiras, autoclismos e reutilização de águas para regas. No caso das Escolas, algumas estavam em fase de obras e acabamento das mesmas, tendo-se optado por escolher a IC que mostrou maior aceitação para a realização deste estudo.

A IC colectiva escolhida a Escola Básica do 2º e 3º Ciclos Martim de Sede do Agrupamento Martim de Freitas, que é constituída pelo estabelecimento de ensino em causa e mais cinco escolas do 1º ciclo e dois jardins-de-infância.

A Escola Sede (Figura 4.1) é constituída por 6 blocos que incluem salas de aula, uma biblioteca, uma sala de estudo, um gabinete de intervenção disciplinar, um laboratório de matemática, um gabinete de educação para a saúde e educação para o ambiente, duas salas de informática, um auditório, duas salas TEACCH, uma sala de formação, uma sala polivalente, um refeitório, um bar de alunos, um bar de professores, uma papelaria, a secretaria, uma sala destinada à Direcção da escola e ainda um pavilhão gimnodesportivo e vários campos de jogos e recreios exteriores.

A escola é constituída por 399 alunos no 2º ciclo e 441 no 3º ciclo, por 107 docentes e 51 funcionários dos quais 10 pertencem à empresa que faz funcionar o refeitório.



Figura 4.1 - Vista da Escola Sede Martim de Freitas (GoogleEarth, 13.6.2012)

Dado que à entrada da escola o sistema de abastecimento se encontra dividido em duas zonas, uma correspondente aos 6 blocos e outra correspondente ao pavilhão gimnodesportivo, optou-se por efectuar o estudo apenas para o pavilhão gimnodesportivo.

O pavilhão gimnodesportivo é constituído por um campo de futebol, dois balneários para os alunos (um feminino e outro masculino), um WC para os funcionários, um WC e um gabinete para os professores. Ambos os balneários para os alunos têm a mesma constituição e disposição: oito chuveiros, quatro lavatórios, três casas de banho e dois mictórios. O WC dos funcionários tem um lavatório, uma sanita, um mictório e uma máquina de lavar roupa, sendo que o WC dos professores é constituído por um lavatório, um mictório e uma sanita. Por fim, o gabinete dos professores tem um lavatório, um chuveiro, uma sanita e um bidé. A água fria é aquecida através de uma caldeira sendo que a mistura entre a água quente e a água fria é assegurada através de válvulas termostáticas existentes no interior dos balneários (Figura 4.2).

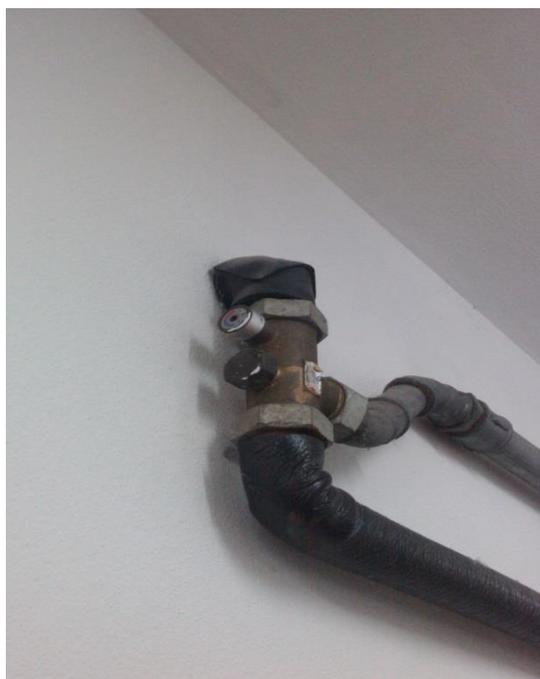


Figura 4.2 – Válvula Termoestática misturadora de água fria/água quente



Figura 4.3 – Autoclismo (marca Kariba)



Figura 4.4 – Autoclismo (marca Oli)

Os autoclismos são de descarga simples, da marca Kariba, com capacidade de 10 litros (Figura 4.3), excepto um do balneário feminino que já é de dupla descarga e da marca Oli, com capacidade 9/4,5 litros (Figura 4.4). Note-se que o funcionamento dos autoclismos não depende da pressão

Na Figura 4.5 apresenta-se um dos mictórios existentes nos balneários.



Figura 4.5 – Mictório

Os dispositivos mais relevantes neste estudo são os chuveiros (Figura 4.6), lavatórios (Figura 4.7) e o bidé. Refira-se que os dispositivos são, na sua maior parte, muito antigos, alguns já apresentam estado adiantado de degradação com significativos consumos de água e algumas perdas. Quanto à canalização, ainda é a original, tendo perto de 25 anos.

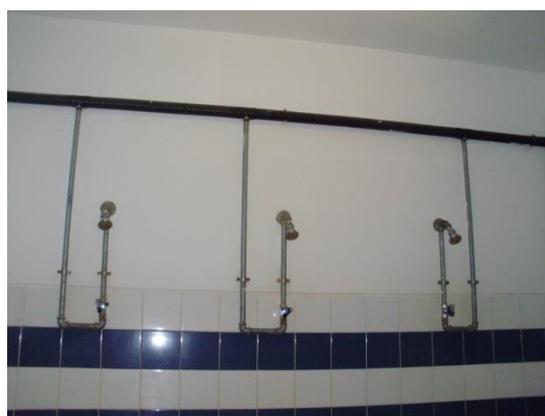


Figura 4.6 – Chuveiros dos balneários dos alunos



Figura 4.7 – Lavatório

4.2 Equipamento

Antes de se iniciar o estudo, teve que se proceder a uma preparação da instalação através da colocação do equipamento necessário, nomeadamente vários acessórios (uniões, casquilhos, porcas de redução, ligadores, tês), um novo contador, uma válvula redutora de pressão, um transdutor de pressão e um *datalogger* fornecido e monitorizado pela empresa “ISA - *Intelligent Sensing Anywhere*, S.A.”.

A IC em causa já tinha uma válvula redutora de pressão à entrada da rede (Figura 4.8), devido ao facto da escola se situar num ponto baixo, em que a água da rede chegava com uma pressão muito elevada. Esta válvula está regulada para uma pressão da ordem dos 3.3/3.4 bar.



Figura 4.8 – Válvula redutora de pressão à entrada da rede

Do equipamento instalado podemos destacar:

- Contador da marca SEKO (Figura 4.9), código WMT020C1AO, USLF/20 – 3/4" (com diâmetro 20 mm e de 3/4 polegada), sendo as suas características descritas no Quadro 4.1.



Figura 4.9 – Contador da marca SEKO

Quadro 4.1 – Características do contador

Tamanho		DN		20
		Polegadas		3/4
Dados Hidráulicos	Caudal Máximo (período curto)	Qmax	m ³ /h	5
	Caudal nominal	Qn	m ³ /h	2.5
	Caudal mínimo (erro ± 5%)	Qmin	m ³ /h	500
	Caudal de transição (erro ± 2%)	Qt	m ³ /h	200
	Leitura máxima		m ³	10000
Dimensões	Comprimento sem adaptadores	L	mm	130
	Comprimento com acessórios		mm	228
	Largura	D1	mm	80
	Altura	H	mm	90

- Válvula redutora de pressão³ da marca CALEFFI (Figura 4.10), modelo **536071** 1 1/4" (reduzora de pressão, com manómetro, ligações macho com casquilho). É uma reduzora de pressão com cartucho extraível, corpo em latão, ligações macho com casquilho, pressão máxima a montante de 25 bar, pressão a jusante de 0.5÷6 bar, a pedido 6÷10, e temperatura máxima de 80°C; homologada segundo a norma EN 1567, com manómetro 0÷10 bar.

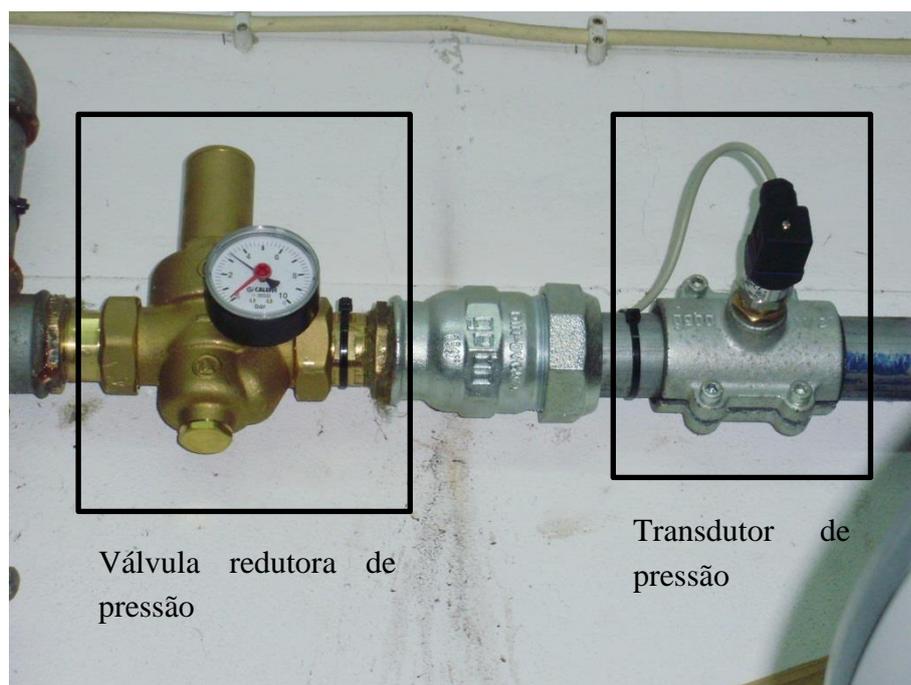


Figura 4.10 – VPR e transdutor de pressão instalados na IC

Este modelo de VPR tem um funcionamento específico, de acordo com a sua produtora CALEFFI. O seu princípio de funcionamento tem como base o equilíbrio de duas forças que se opõem, a primeira é a força da mola contra abertura do obturador, e a segunda é a força da membrana contra o fecho do obturador (Figura.4.11).

³ Segundo a CALEFFI, VPR são dispositivos que, instalados na rede privada de distribuição de água, reduzem e estabilizam a pressão de entrada da rede pública. Tal pressão é, geralmente, demasiado elevada e variável para uma utilização correcta das instalações hidro – sanitárias.

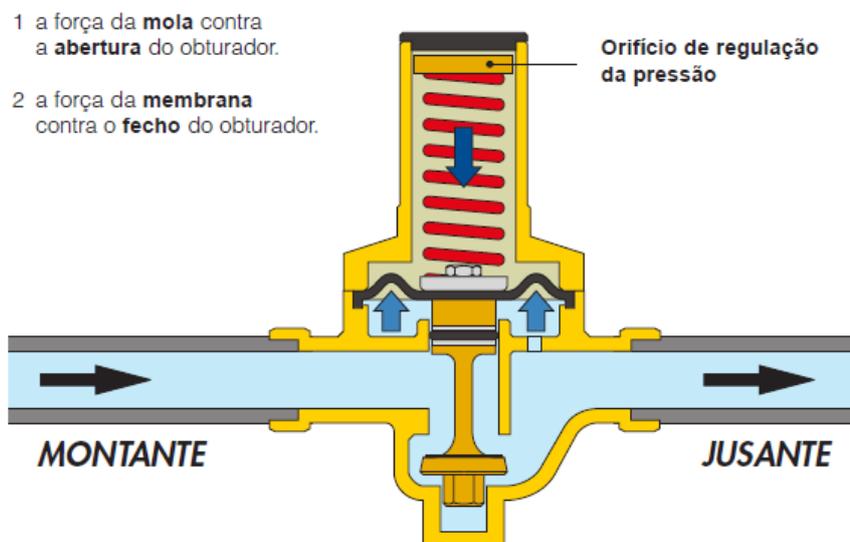


Figura 4.11 - Princípio de funcionamento da VRP (CALEFFI@, 2013)

A VRP tem um funcionamento diferente quando há e não há consumo. Quando há consumo (Figura 4.12), quando um utilizador abre a torneira, a força da mola torna-se superior à contrária, da membrana; o obturador desloca-se para baixo, abrindo passagem à água. Quanto maior for o pedido de água, maior será a diminuição da pressão por baixo da membrana, provocando assim uma maior passagem de fluido através do obturador. Quando não há consumo (Figura 4.13), ou seja todas as torneiras estão fechadas, a pressão a jusante aumenta e empurra a membrana para cima. Deste modo, o obturador fecha-se, impedindo a passagem do fluido e mantendo constante a pressão no valor regulado. Uma diferença mínima a favor da força exercida pela membrana em relação à exercida pela mola provoca o fecho da válvula.

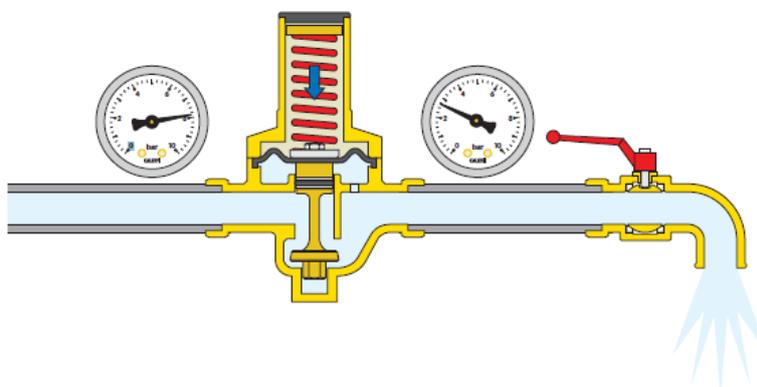


Figura 4.12 – Funcionamento da VRP quando há consumo (CALEFFI@, 2013)

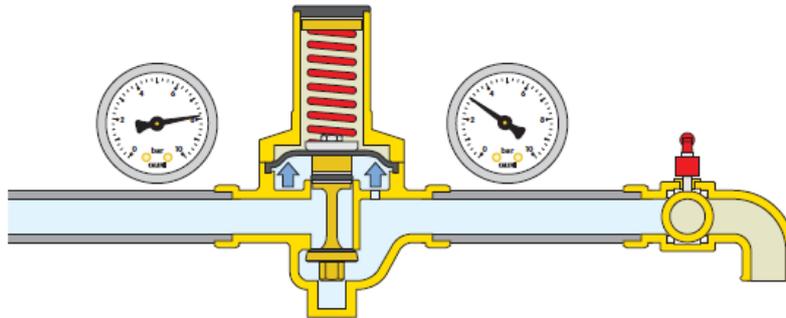


Figura 4.13 – Funcionamento da VPR quando não há consumo (CALEFFI@, 2013)

- Transdutor de pressão da marca WIKA (Figura 4.10), do tipo A – 10.
- *Datalogger* (Figura 4.14) fornecido pela empresa “ISA - Intelligent Sensing Anywhere, S.A.”; os consumos de água que são medidos pelo contador são monitorizados por um sensor e registados no *datalogger*. Este equipamento possui um modem GSM/GPRS que envia diariamente (intervalos de um minuto) as leituras para um servidor da ISA. A empresa cedeu acesso à plataforma iWater (Figura 4.15) (<http://itelemetry.isa.pt/iwater/Login.aspx?ReturnUrl=%2fiwater%2f>) para as leituras das pressões, e à plataforma iTelemetry (Figura 4.16) (<http://itelemetry.isa.pt/explorer/Login.aspx?ReturnUrl=%2fexplorer%2f>) para as leituras de consumos e caudais.



Figura 4.14 – *Datalogger* fornecido e instalado pela ISA

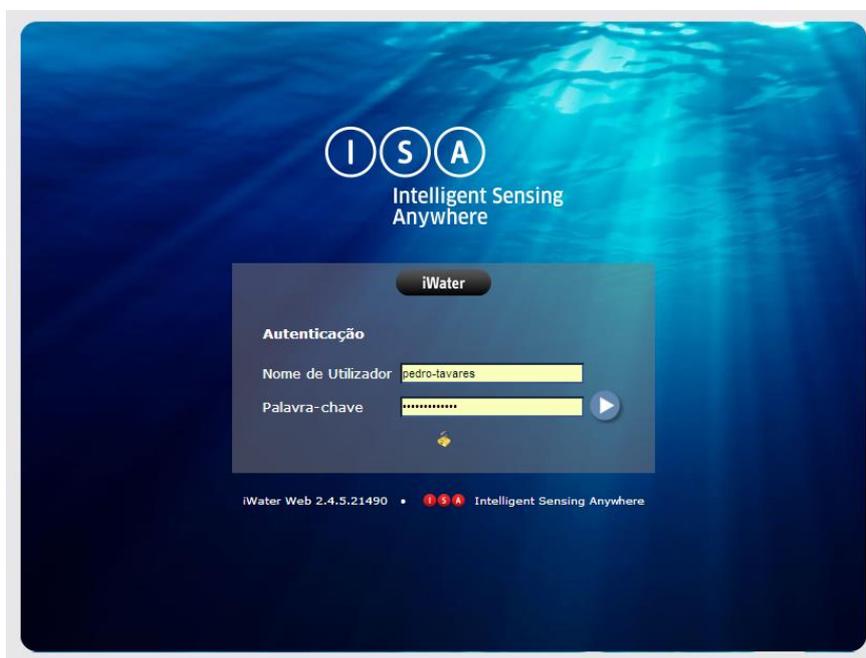


Figura 4.15 – Página da plataforma iWater da ISA para consulta das pressões

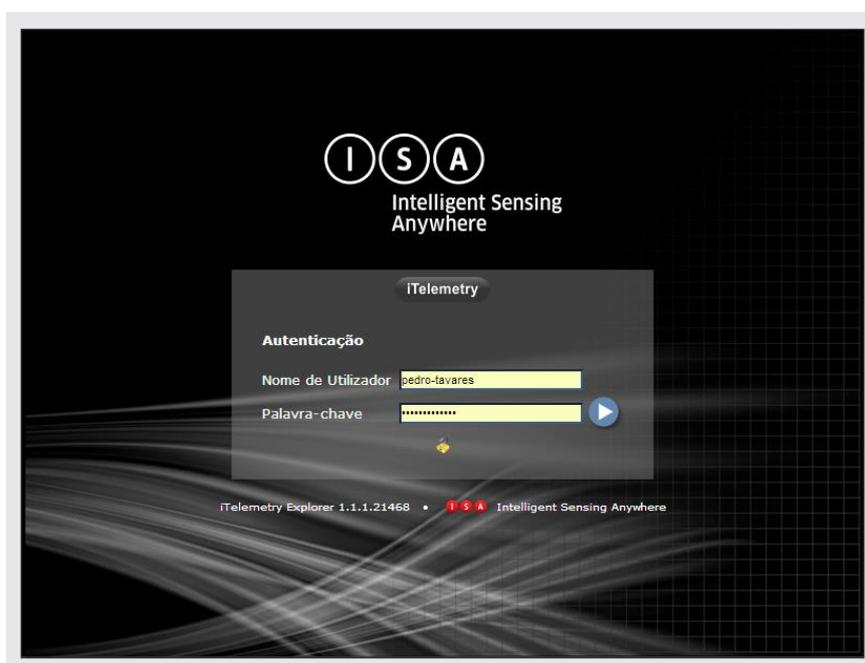


Figura 4.16 – Página da plataforma iTelemetry da ISA para consulta dos consumos e caudais

Deste modo, é possível em qualquer lugar com acesso à Internet poder consultar os dados atrás referidos.

no Uso Eficiente da Água

Nas Figuras 4.17 e 4.18 são mostrados as potencialidades de cada plataforma (iWater e iTelemetry, respectivamente), dados emitidos pelo *datalogger*, como as leituras de consumos, caudais, respectivos gráficos e leituras de pressão.

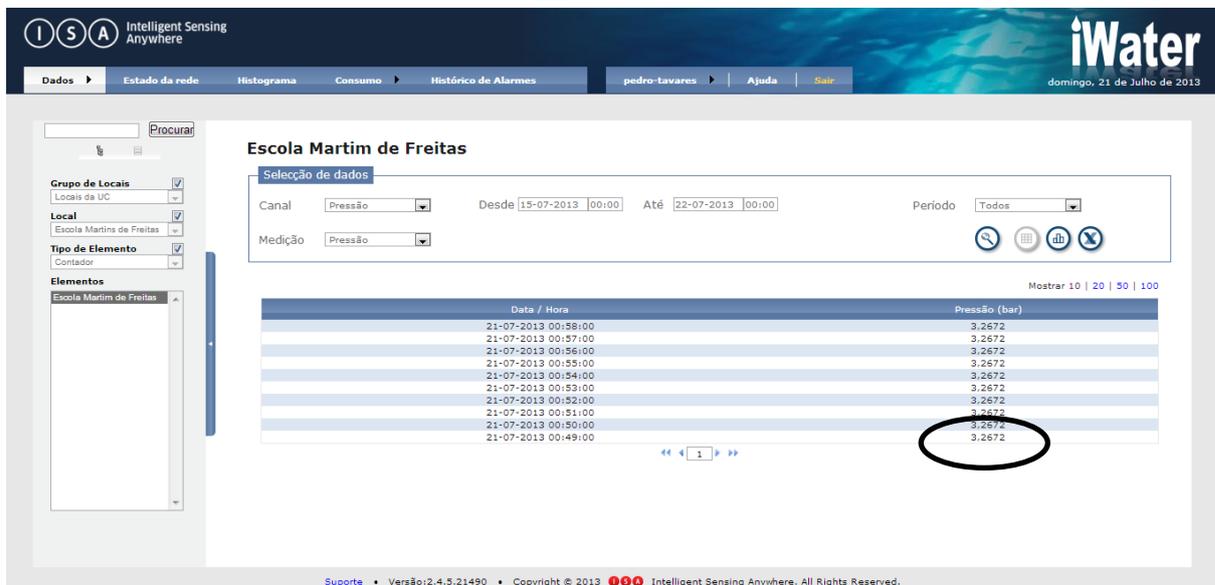


Figura 4.17 – Exemplo de tabela com as pressões registadas

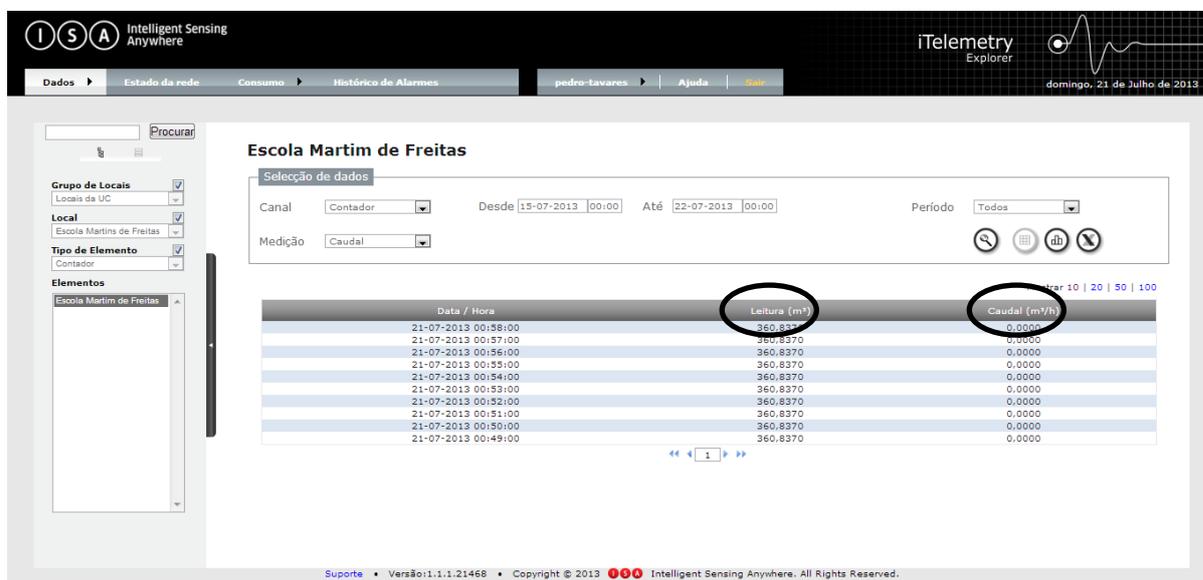


Figura 4.18 – Exemplo de tabela com o registo da leitura do contador e do caudal

4.3 Análise de Resultados

A informação relativa aos consumos, caudais e pressões registadas foi recolhida em vários períodos desde o dia 18 de Outubro de 2012 até 21 de Junho de 2013. Interessa, fundamentalmente, as épocas escolares, na medida em que são os períodos em que o pavilhão gimnodesportivo tem uma utilização mais intensiva. Os consumos no pavilhão representam apenas cerca de 10% do consumo total da escola (cerca de 3000 m³ nos 8 meses o que perfaz um consumo médio na escola de 375 m³/mês).

Realce-se desde já que apesar de não ser um objectivo desta dissertação, o iWater e o iTelemetry permitem também detectar rapidamente anomalias, como por exemplo consumos anormais, como se mostra na Figura 4.19, em que durante a noite, quando não deveria haver consumo, existe um consumo anormal que pode ser explicado por uma torneira deixada aberta ou um autoclismo em condições deficientes que permite a passagem de água.

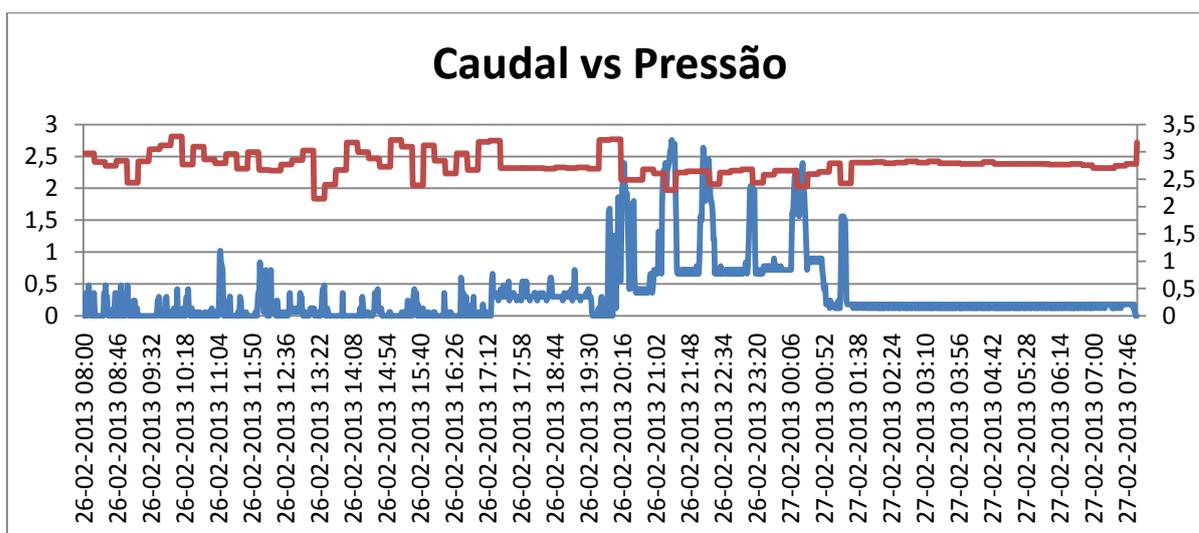


Figura 4.19 – Identificação de anomalias

No que diz respeito à análise dos consumos/pressões dividiu-se os períodos a estudar em três situações: em primeiro lugar a pressão na válvula redutora de pressão era de 3,0 bar, valor pré-definido de fábrica; numa segunda situação diminui-se a pressão para um valor tal que seja considerado como limite mínimo de conforto para os utilizadores (2,0 bar); finalmente numa última fase, analisou-se uma situação intermédia de pressão (2,5 bar).

Para todas as situações analisadas foi desde logo possível constatar que mesmo sem haver consumo no pavilhão gimnodesportivo existem flutuações de pressões registadas (Figura

4.20), motivadas possivelmente pelos consumos noutros blocos da escola ou eventualmente por variações na rede pública. Note-se que o avançado estado geral de degradação da rede também pode ser um factor também a considerar (Figura 4.21).

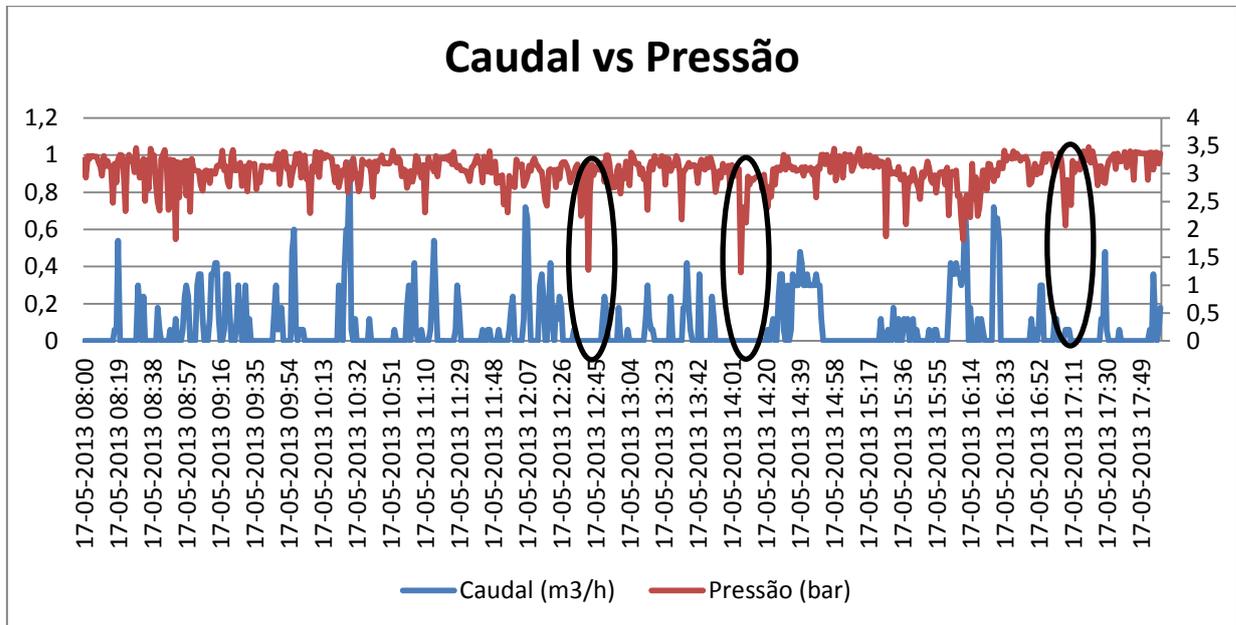


Figura 4.20 – Exemplo de flutuações da rede sem consumo



Figura 4.21 – Canalização em adiantado estado de degradação

Além disso é importante desde já referir que a instalação apresenta, como já foi referido, válvulas termostáticas que permitem misturar a água fria com a água quente proveniente da caldeira. Como a válvula redutora de pressão está instalada a jusante do tê que separa a canalização da água fria da água que é aquecida pela caldeira (Figura 4.22) com o esquema da canalização), e dado que quando não há consumo no pavilhão o manómetro acoplado à válvula redutora de pressão indica o valor da pressão na rede a montante, é de crer que a válvula não dispõe de dispositivo anti-retorno ou então está a funcionar em condições deficientes, constatando-se, por vezes, que nas torneiras dos lavatórios a água é tépida. Nestas condições a análise da variação da pressão deve ser feita com o máximo cuidado, só traduzindo resultados válidos quando garantidamente não houver consumo nos restantes blocos da escola, o que sucede apenas quando o período de aulas não está a decorrer, ou seja, no período nocturno.

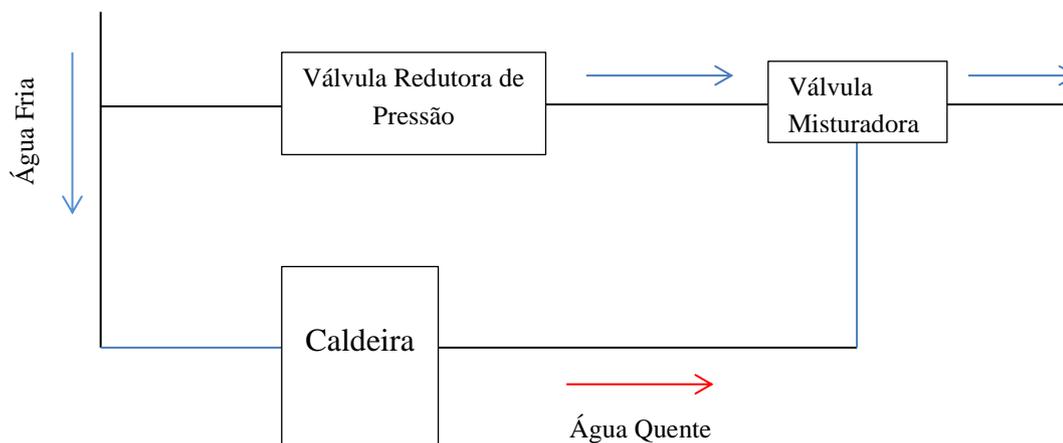


Figura 4.22 – Esquema da canalização dentro do pavilhão

A análise dos consumos ao longo do dia para as 3 situações permitiu identificar dois períodos distintos com maior consumo: das 8:00h às 18:00h (horário de funcionamento da escola, coincidente com o período de aulas-período diurno) e das 20:00h à 1.30h (período em que o pavilhão gimnodesportivo é utilizado por actividades extra-escola como sejam jogos de futsal-período nocturno). No Quadro 4.2 apresentam-se os consumos registados ao longo do dia (considerando as 24h entre as 1:30h de dois dias consecutivos) e nos períodos 8:00-18:00h e 20:00-1.30h para as várias situações analisadas. Dado que o consumo entre as 8:00-18:00h e as 20:00-1.30h representa cerca de 91,5% do consumo total ao longo do dia, optou-se por estudar apenas estes dois períodos do dia.

Quadro 4.2 – Consumos ao longo do dia para as pressões (P1=3 bar, P2=2 bar e P3=2,5 bar)

	Horário						
	08:00-18:00			20:00-01:30			01:30-01:30
		% (01:30-01:30)	% (8-18+20-01:30)		% (01:30-01:30)	% (8-18+20-01:30)	
P1=3bar							
Dias	41			41			41
Consumo (m ³)	44,314	45,050	51,091	42,421	43,125	48,909	98,367
Caudal médio (m ³ /d)	1,081			1,035			2,399
P2=2 bar							
Dias	32			32			32
Consumo (m ³)	31,651	46,045	49,344	32,492	47,269	50,656	68,739
Caudal médio (m ³ /d)	0,989			1,015			2,148
P3=2,5 bar							
Consumo (m ³)							
Dias	29			29			29
Consumo (m ³)	24,181	46,597	49,749	24,425	47,067	50,251	51,894
Caudal médio (m ³ /d)	0,834			0,842			1,789

Do Quadro 4.2, analisando os consumos para os dois períodos referidos e para as 3 situações, é possível concluir que os consumos são muito semelhantes (50,1% para o período diurno e 49,9% para o período nocturno), apesar do intervalo de tempo relativo a cada um dos períodos ser substancialmente diferente (10 horas para o primeiro e 5:30h para o segundo). Esta situação pode ser explicada pelo facto de que, no período diurno, o pavilhão não é muito utilizado em termos de banhos pelos alunos (a média dos banhos é 13 por semana), enquanto que, no período nocturno, os vários grupos que frequentam o pavilhão utilizam os chuveiros em muito maior quantidade (a média de banhos é de aproximadamente 40 por semana, havendo variações, pois o numero de utilizações varia de dia para dia e de semana para semana). Na Figura 4.23 apresenta-se uma distribuição exemplificativa dos consumos ao longo do dia.

Da análise dos consumos para as 3 situações de pressão (Quadro 4.2), a diminuição de pressão de 3,0 bar para 2,0 bar teve como consequência uma diminuição do caudal médio diário de 2,4 m³/dia para 2,15 m³/dia, como seria de esperar; no entanto, o aumento da pressão de 2,0 bar para 2,5 bar deu origem a uma nova diminuição do caudal, contrário ao que seria expectável. Note-se que a amostra certamente não é suficiente e que ao longo dos períodos referidos há utilizações desiguais dos vários dispositivos, nomeadamente no que diz respeito aos chuveiros, deturpando por isso os consumos finais. Daí não ser por isso possível tirar conclusões muito válidas acerca das consequências da diminuição da pressão nos consumos globais do pavilhão.

A análise dos consumos para os vários dias da semana para cada uma das situações em termos de caudal permitiu identificar uma analogia entre os mesmos dias de cada semana; assim, por exemplo as várias 6^{as} feiras apresentam um padrão semelhante de consumos com variações pontuais justificadas pela variação diária e mesmo semanal dos utilizadores (Figura 4.24). Da análise do gráfico (para uma pressão de 3,0 bar) constata-se que os consumos são às mesmas horas, mas apresentam variações. Na Figura 4.25 apresenta-se a variação do consumo ao longo do dia para algumas 3^{as} feiras para uma pressão de 2,5 bar.

Quanto à variação da pressão, e como já foi referido, a análise para o período diurno não é possível ser efectuada com rigor pelo facto de haver consumos noutros blocos da escola que influenciam a pressão na rede do pavilhão. Para o período nocturno verifica-se que quando não há consumo a pressão é constante e igual à da rede a montante; quando há consumo, a pressão diminui, como seria de esperar. Esta situação impede a válvula de redução de pressão (VRP) de manter o valor para a qual está regulada.

Analisou-se igualmente, para o período nocturno, a variação do caudal para os mesmos dias da semana, para as pressões de 3,0, 2,5 e 2,0 bar. Na Figura 4.26 apresenta-se essa mesma variação para 3^a feira. Da análise deste gráfico é possível concluir que a variação da pressão está de acordo com os consumos e com a regulação da pressão na válvula.

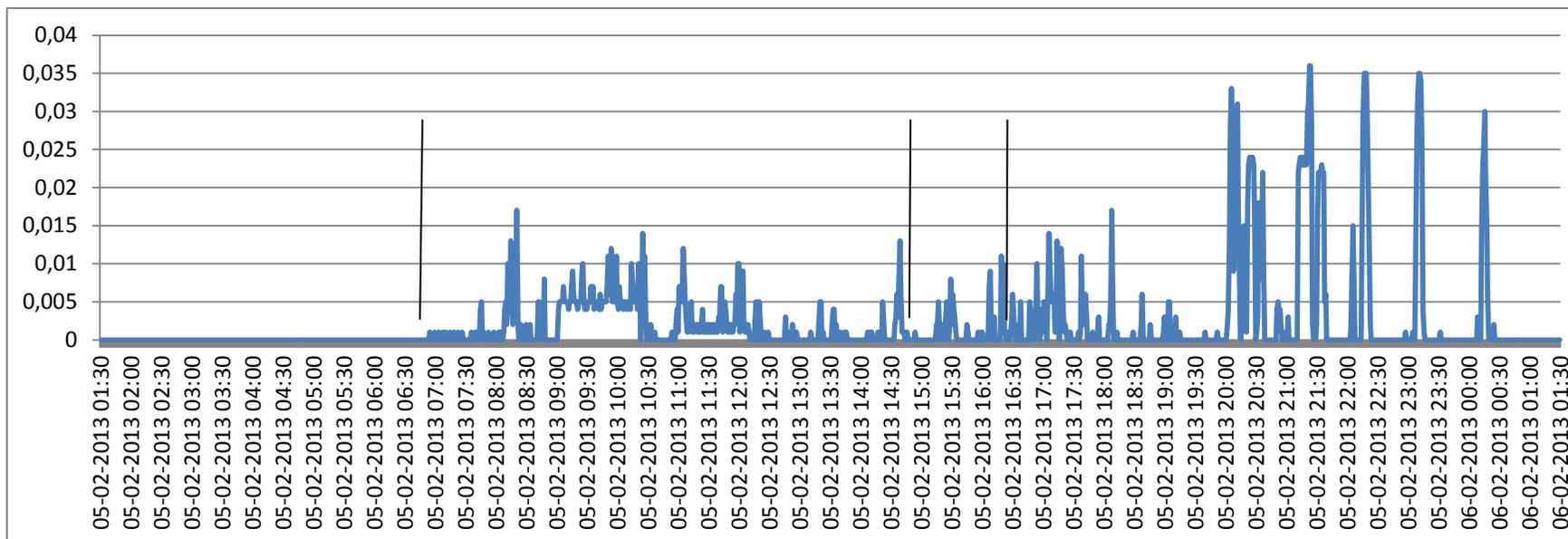


Figura 4.23 - Distribuição exemplificativa dos consumos ao longo de um dia

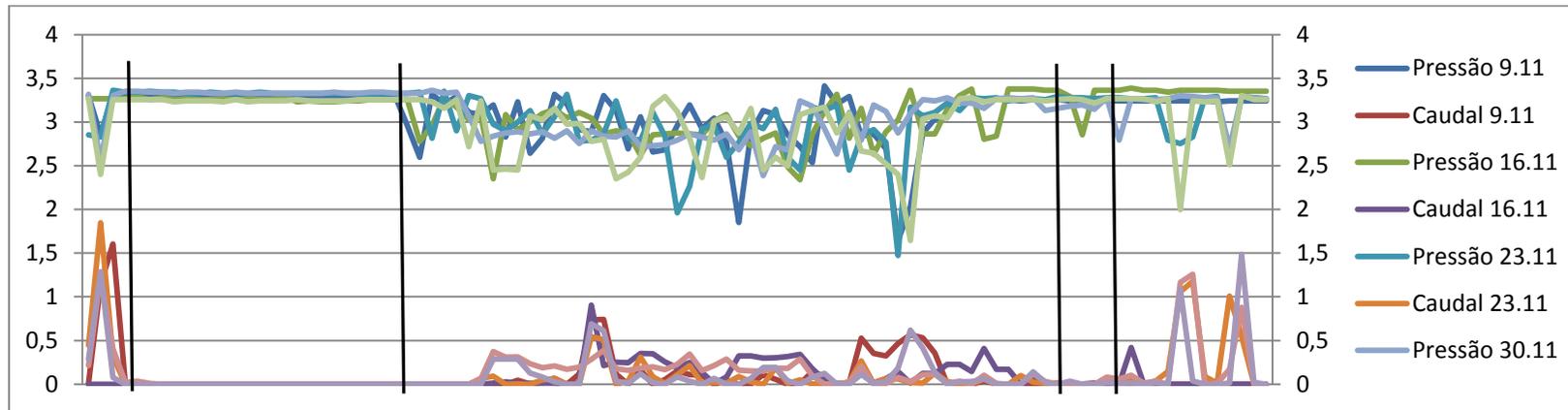


Figura 4.24 – Variação dos consumos às 6^{as} feiras para uma pressão de 3,0 bar

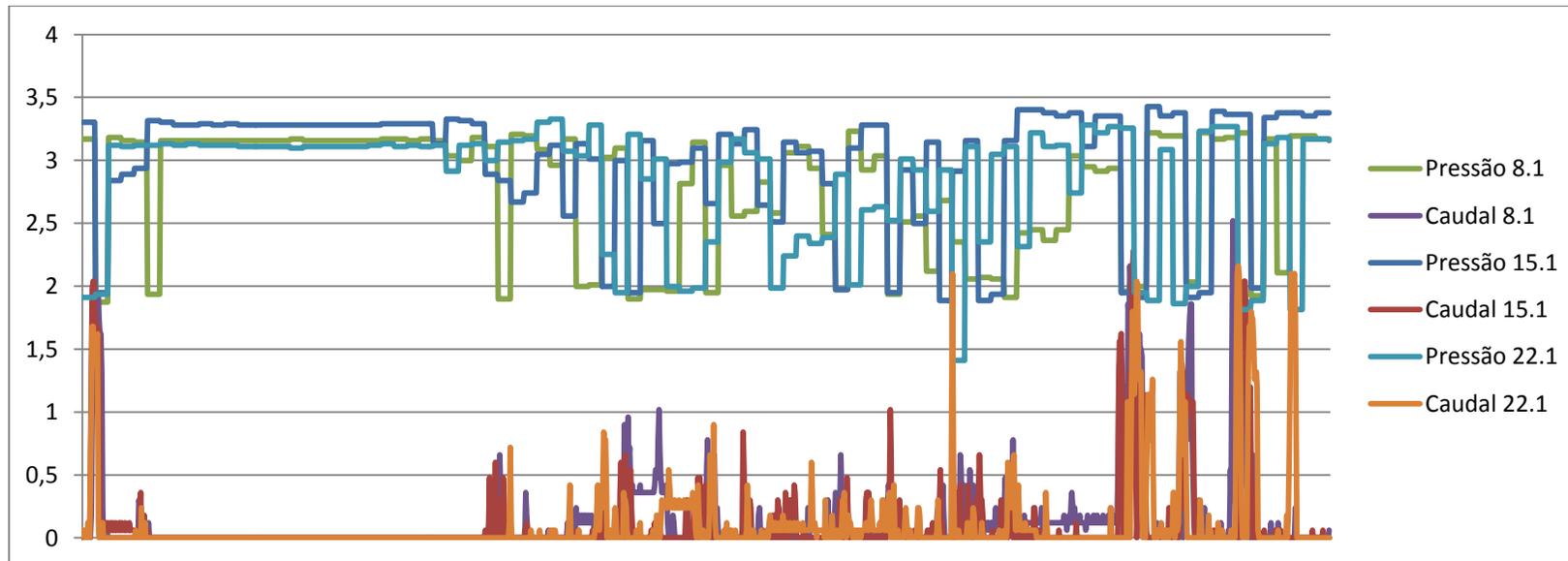


Figura 4.25 – Variação dos consumos às 3^{as} feiras para uma pressão de 2,5 bar

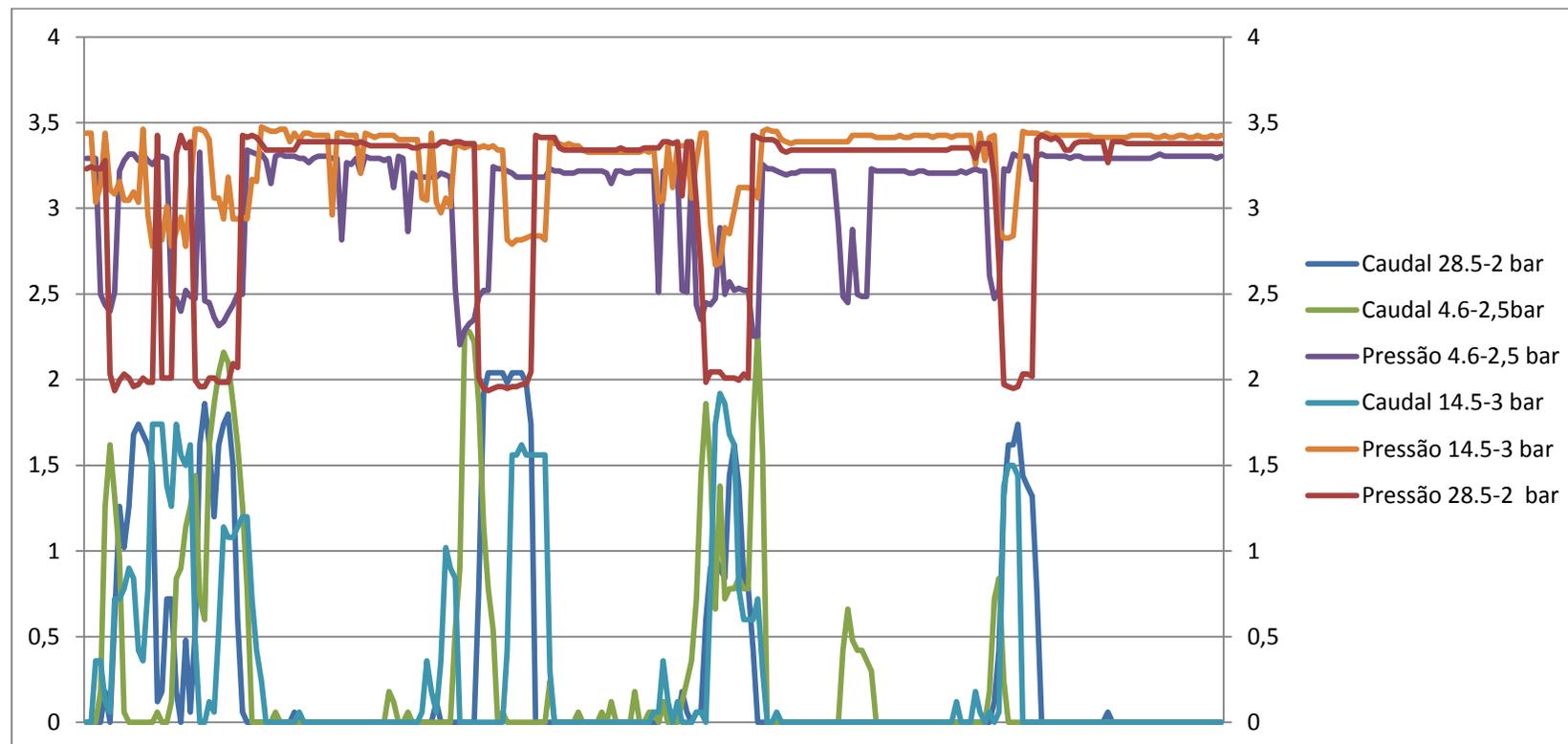


Figura 4.26 – Variação dos caudais vs pressão para as 3^{as} feiras para as pressões de 3,0, 2,5 e 2,0 bar

Foi igualmente feita uma análise aos vários dispositivos existentes no pavilhão gimnodesportivo para avaliar a sua eficiência e da possibilidade de diminuição do consumo através da redução de pressão na rede. Desse modo foram feitas, em cada dispositivo, 5 medições de caudal (através do método volumétrico, tendo-se utilizado uma balança de grande precisão), para cada uma das pressões analisadas. (Anexo A). A representação gráfica da curva de ajuste do quociente dos caudais em função do quociente das pressões, para cada dispositivo, está representada nas Figuras 4.25 a 4.30. Da análise das figuras, verifica-se que o expoente da curva de ajuste é muito próximo de 0,5, valor que está de acordo com a Lei de Torricelli.

Como os resultados referidos anteriormente em relação à variação dos consumos globais para diferentes valores da pressão na válvula redutora de pressão não foram conclusivos pelas razões já explicadas, foi feita uma simulação com vários cenários, tomando como ponto de partida o caudal médio diário de $2.399 \text{ m}^3/\text{d}$, que foi o caudal obtido para 3 bar.

Os cenários foram feitos tendo em consideração a percentagem de consumos dos autoclismos, pois estes dispositivos não entram para o estudo porque não dependem da pressão a que se encontra a rede. No Cenário 1 considera-se o consumo nos autoclismos como sendo 30% do consumo total do pavilhão, o Cenário 2, 20% e o Cenário 3, 10% do consumo total.

A redução da pressão de 3 bar para 2,5 bar permite uma redução do consumo significativa nos vários dispositivos:

- Cenário 1 – Redução de 51,4 %;
- Cenário 2 – Redução de 44,4%;
- Cenário 3 – Redução de 37,5%.

Analogamente à redução da pressão de 3 bar para 2 bar corresponde uma redução de consumo ainda mais significativa, como seria de esperar:

- Cenário 1 – Redução de 68,9 %;
- Cenário 2 – Redução de 64,4%;
- Cenário 3 – Redução de 60%.

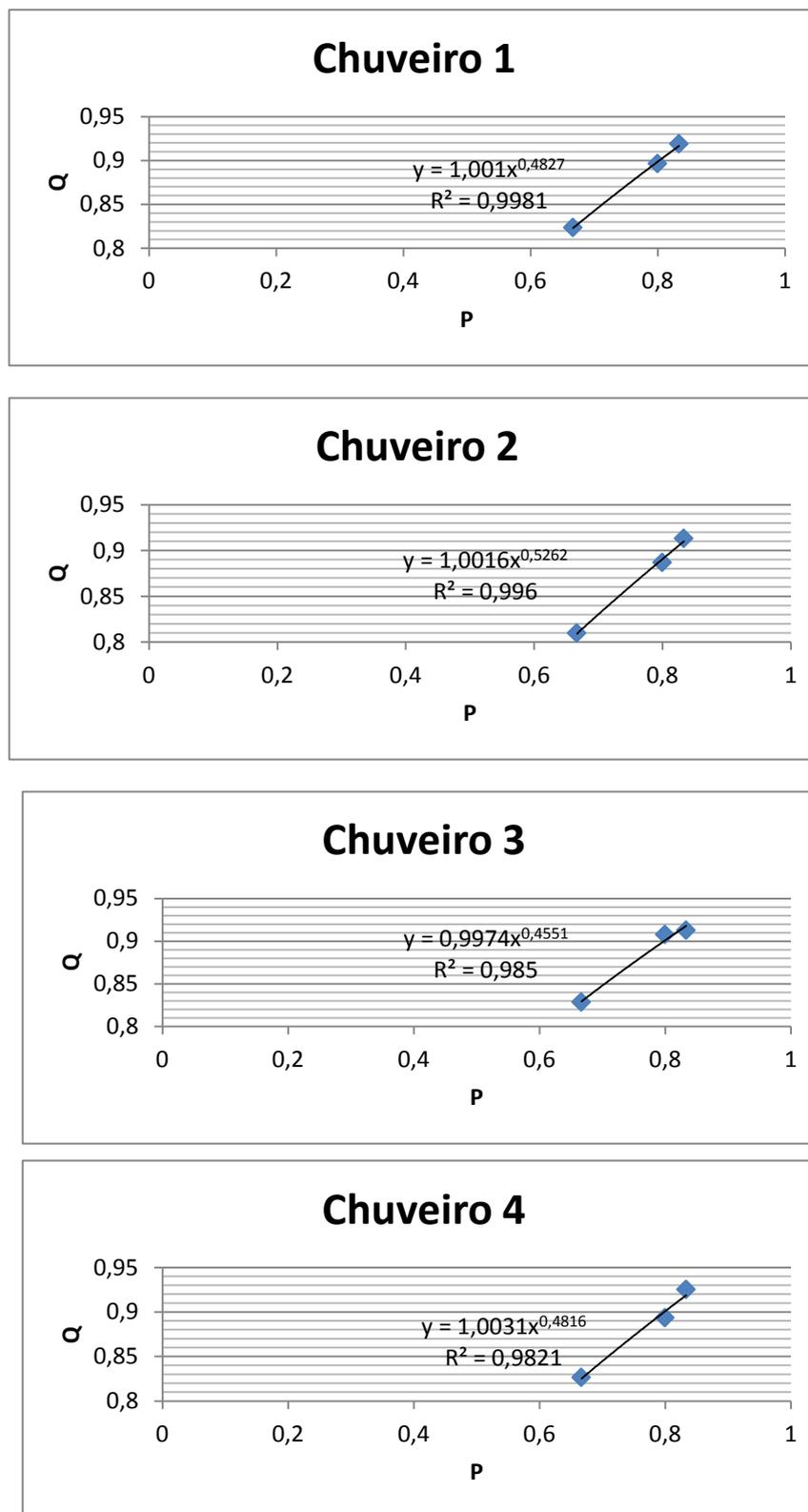


Figura 4.27 – Curva de ajuste para os chuveiros 1-4 do balneário masculino

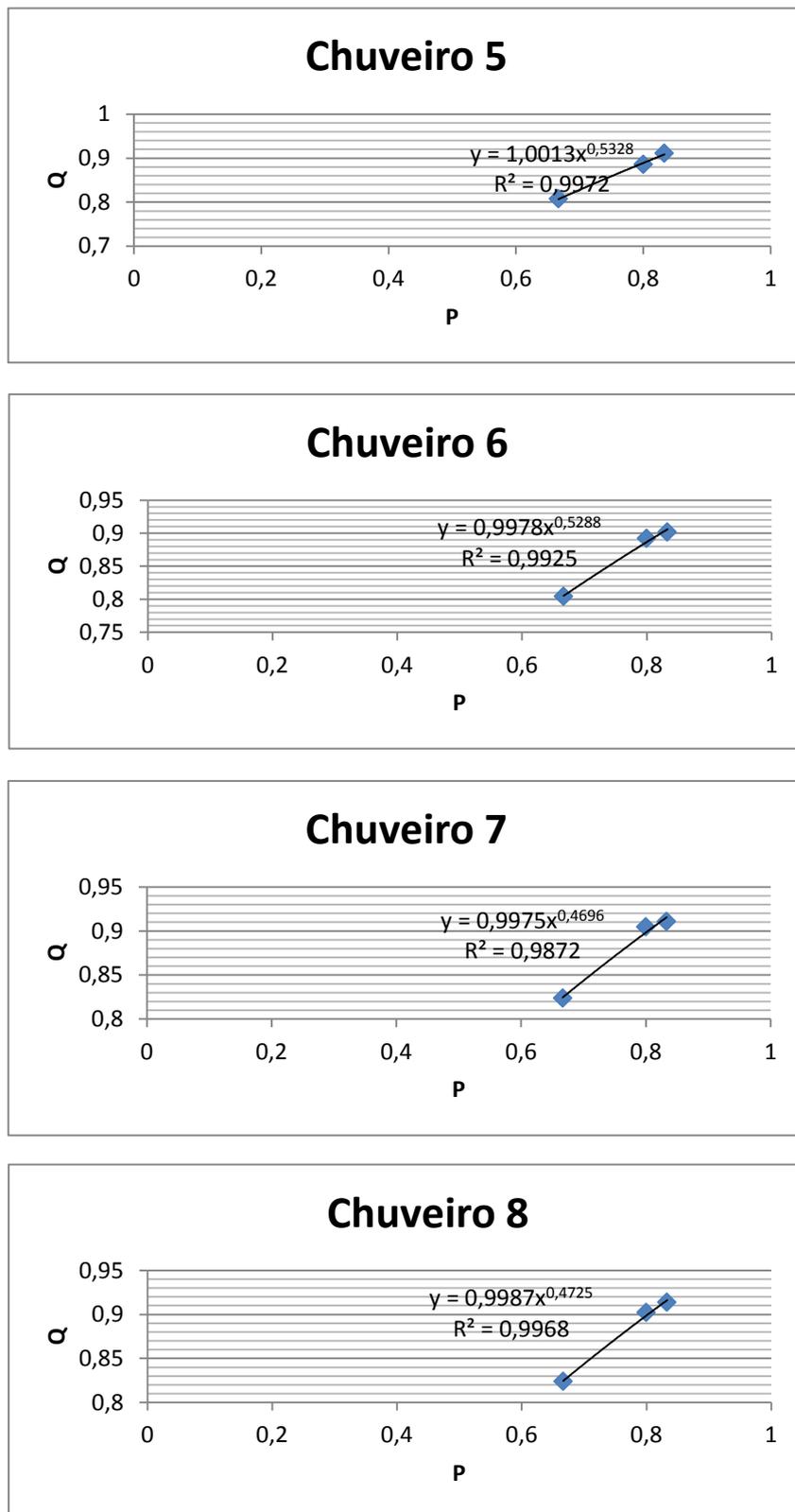


Figura 4.28 – Curva de ajuste para os chuveiros 5-8 do balneário masculino

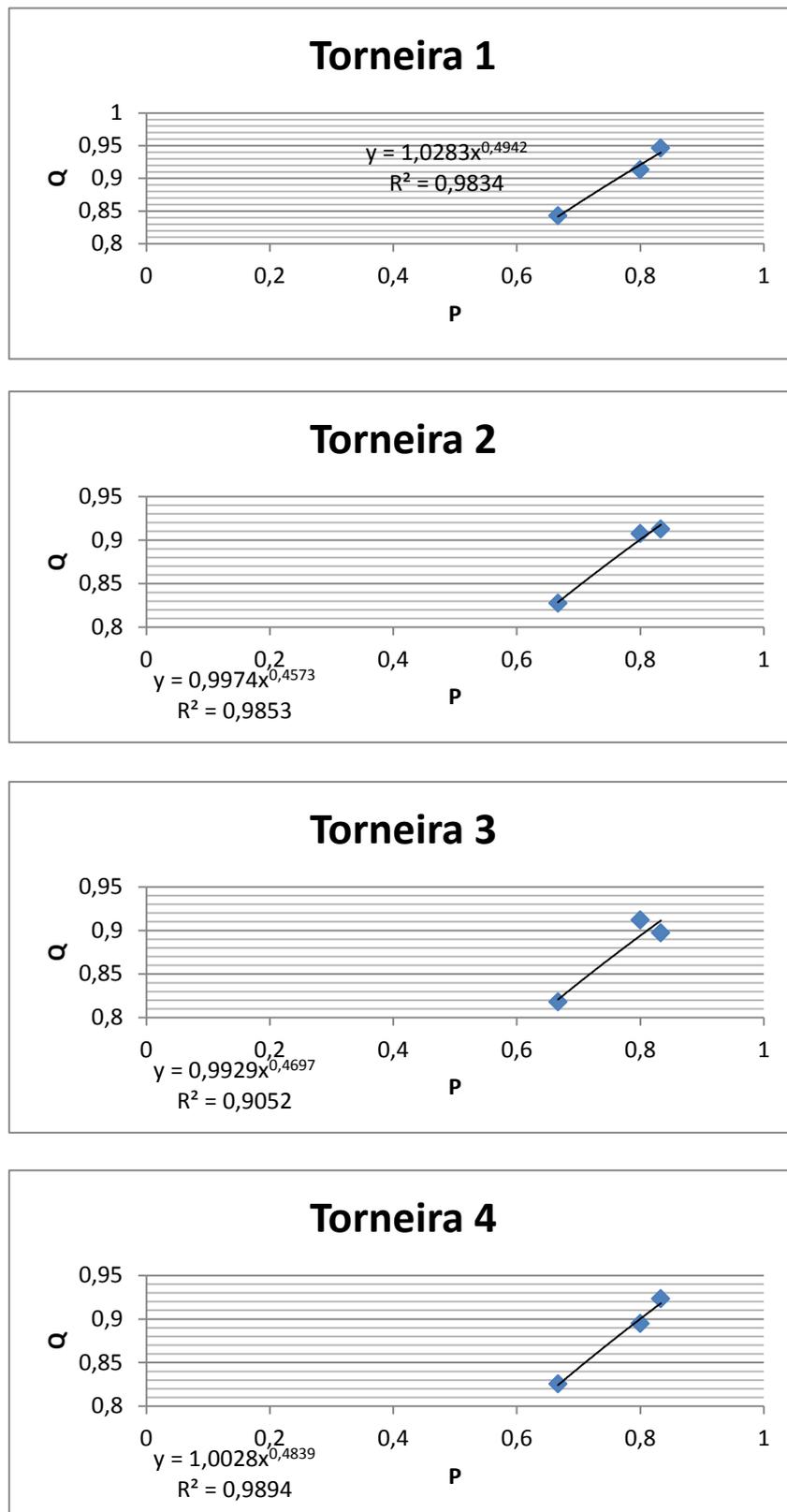


Figura 4.29 – Curva de ajuste para as torneiras 1-4 do balneário masculino

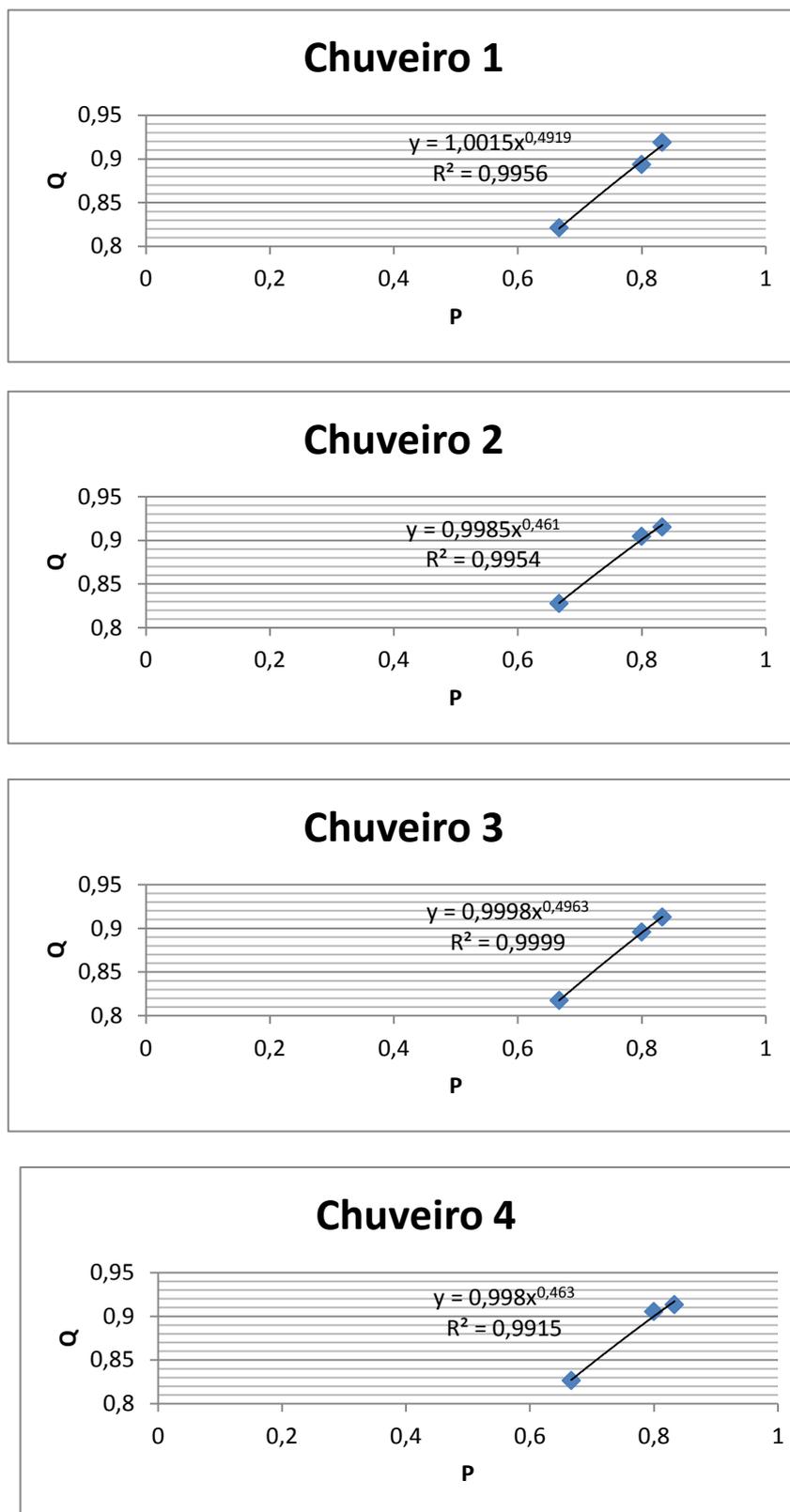


Figura 4.30 – Curva de ajuste para os chuveiros 1-4 do balneário feminino

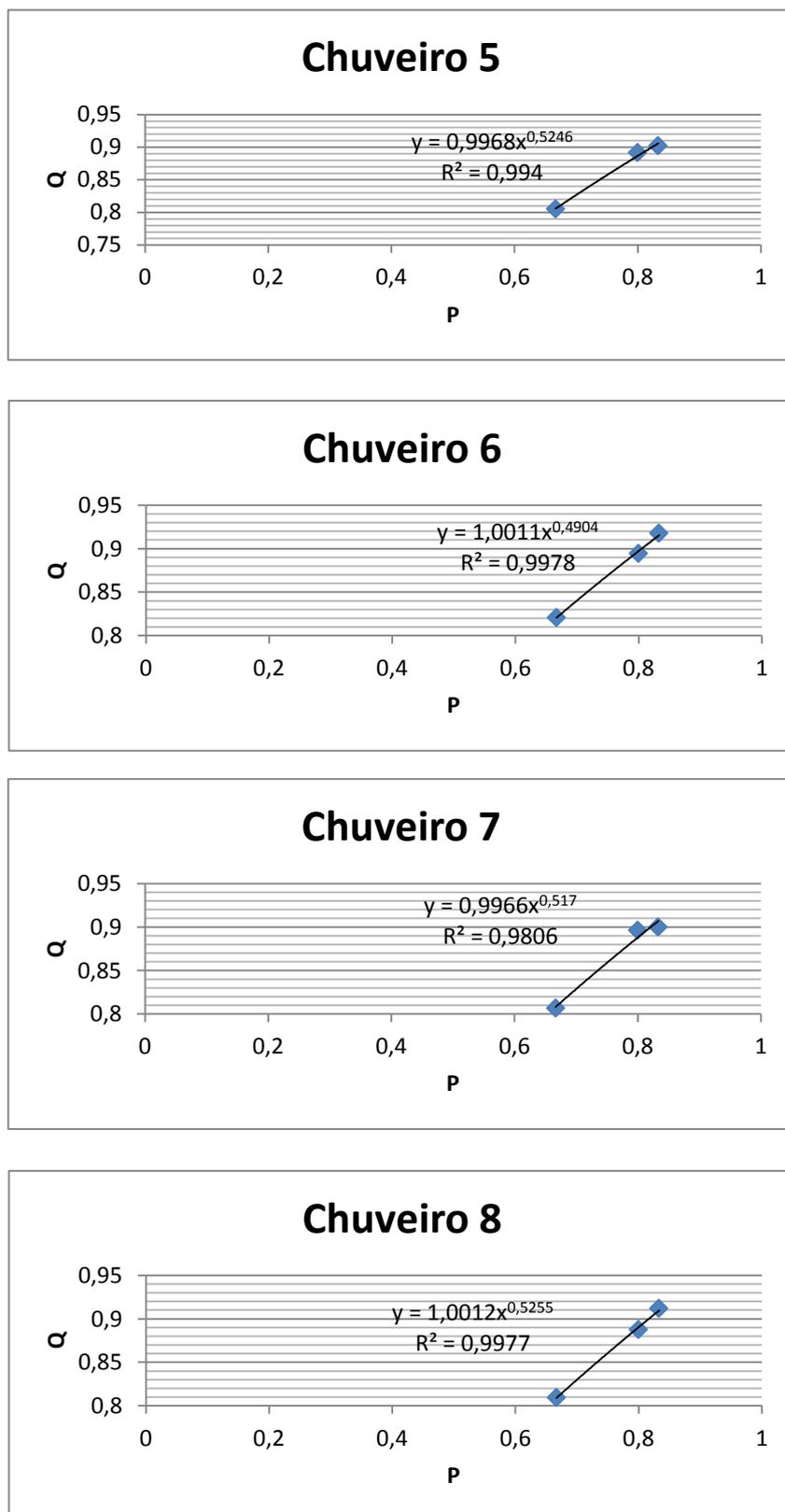


Figura 4.31 – Curva de ajuste para os chuveiros 5-8 do balneário feminino

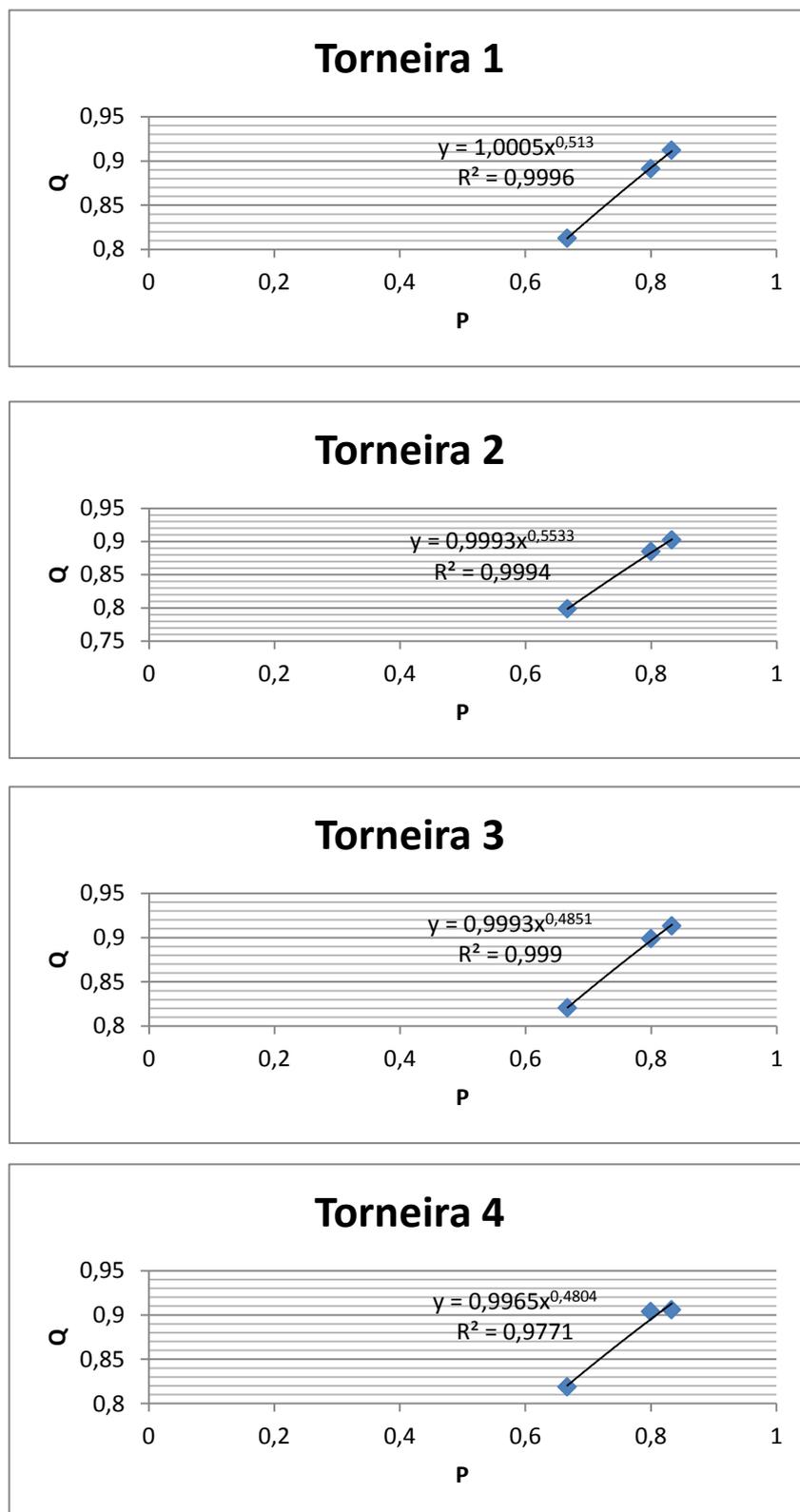


Figura 4.32 – Curva de ajuste para as torneiras 1-4 do balneário feminino

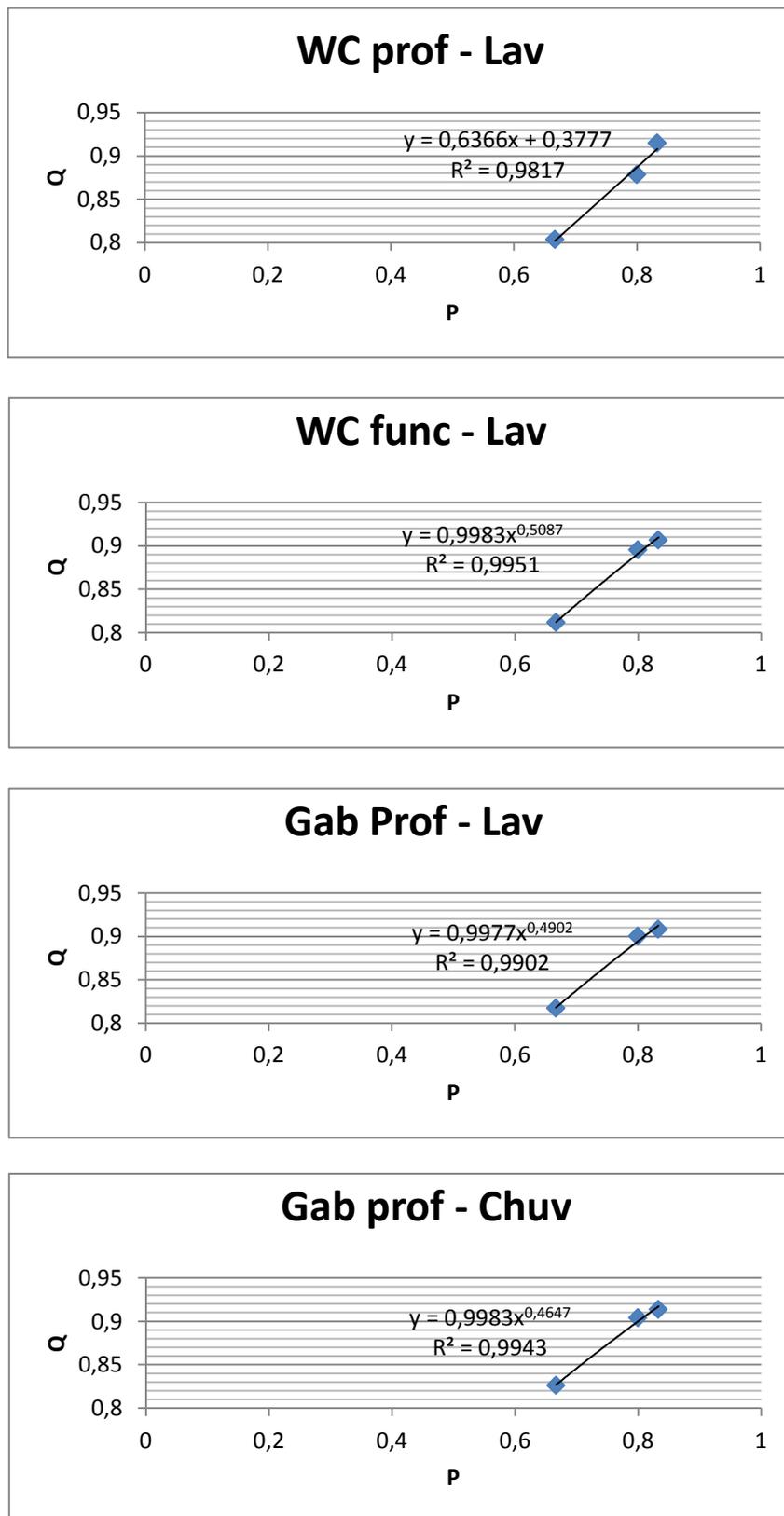


Figura 4.33 – Curva de ajuste para os balneários dos docentes e funcionários

Dado que válvula termostática misturadora da água fria com a água quente permitia o retorno para a VRP, analisou-se também, para 90 dias, o tempo de funcionamento em que na realidade a pressão no pavilhão era controlada pela VRP. Assim, para a pressão de 3 bar, a válvula controlou a pressão a jusante durante 1,7 horas, em 28 dias de estudo, enquanto em 7,3 horas a pressão foi controlada pelo contador (note-se que o caudal máximo do contador é de 5 m³/min o que condiciona a utilização de vários dispositivos em simultâneo), sendo o restante tempo controlado pela pressão da rede. Para a pressão de 2 bar, a válvula controlou a pressão em 1,6 horas, em 31 dias de observações e finalmente, para a pressão de 2,5 bar a válvula actuou também apenas durante 1,7 horas em 31 dias. Conclui-se então que maioritariamente foi a pressão da rede que condicionou a pressão no pavilhão, tendo o controlo de pressão através da VRP actuado muito pouco tempo.

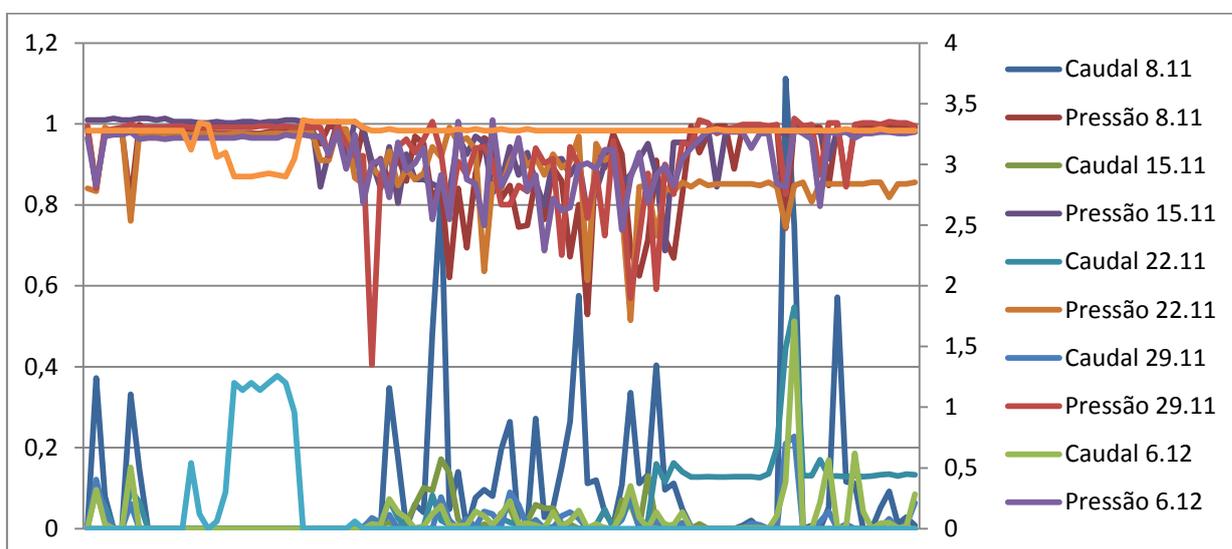


Figura 4.34 – Comparação do caudal vs pressão para o período nocturno (P=2,0 bar, 2,5 bar, 3,0 bar)

4.4 Medidas Propostas

Face à análise dos resultados, existem medidas que podemos tomar para contribuir para um uso eficiente da água e conseqüente poupança, pois sendo uma escola com cerca de 700 alunos os seus consumos são muito significativos.

Assim, recomendaria à escola as seguintes medidas:

- Mudança de toda a canalização, pois como já foi mostrado anteriormente esta encontra-se em muito mau estado;
- Como os consumos dos dispositivos são muito elevados sugeria a mudança das cabeças de chuveiros e das torneiras por umas mais eficientes (por exemplo, dispositivos da categoria A recomendados pela ANQUIP - Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQUIP@ 2013);
- Mudança dos autoclismos para os de dupla descarga (por exemplo, um autoclismo da categoria A custa cerca de 22,5 euros, valor que se consegue amortizar em cerca de meio ano);
- No caso de não ser possível mudar os chuveiros e as torneiras, utilizar redutores de pressão em cada dispositivo (um redutor de pressão para um chuveiro de 9L custa cerca de 9 euros, e um economizador para torneiras de 2L tem o mesmo custo).

5. CONCLUSÕES

O uso eficiente da água é, nos dias de hoje, uma questão muito relevante, pois parte da população ainda não está consciencializada para a escassez de água.

Sendo o caso de estudo uma escola, a formação e sensibilização é ainda mais importante, de modo que os ensinamentos recolhidos possam ter a conseqüente aplicação na vida futura.

Nesta dissertação, cujo objectivo era analisar o efeito da variação de pressão nos consumos de modo a promover o uso eficiente da água, apesar do funcionamento não ter sido o ideal, é ainda possível tirar algumas conclusões, embora algumas hipotéticas.

Foi possível concluir que existem flutuações na rede do pavilhão, afectadas pelo consumo da restante rede predial nos restantes blocos da escola, pelas flutuações da rede pública ou mesmo pelo mau estado da canalização.

Os consumos durante os períodos diurno e nocturno são muito semelhantes, pois os alunos não utilizam muito as instalações (principalmente os chuveiros), enquanto que os praticantes das actividades extra-escolar o fazem.

Podemos afirmar que os caudais dos dispositivos seguem aproximadamente a lei de Torricelli.

Podemos concluir que o efeito da válvula redutora de pressão aplicada neste caso de estudo não foi totalmente eficaz, devido ao facto da pressão no pavilhão ter sido, na maior parte do tempo, controlada pela pressão na rede a montante. No entanto, em boas condições de conservação da rede de distribuição de água da escola, a poupança seria significativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afonso, A. S. (1997). “O Novo Regulamento Português de Águas e Esgotos Anotado e Comentado. Volume I (Sistemas de Distribuição Pública de Água. Casa do Castelo Editora. Coimbra.

Afonso, A. S. (2001). “Contributos para o dimensionamento de redes de águas em edifícios especiais. Aplicação de modelos matemáticos”. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Alegre, H., Coelho, S. T., Almeida, M. C. e Vieira, P. (2002). “Controlo de Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição”. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Instituto da Água. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.

Almeida, M. C., Vieira, P. e Ribeiro, R. (2006). “Uso Eficiente da Água no Sector Urbano”. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Instituto da Água. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.

APA (2012). "Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água".

ANQUIP@ (2013). www.anquip.pt

BCM@ (2003). “Guidelines and standards for design of water supply. Buffalo City Municipality of East London”. www.buffalocity.gov.za/municipality/bcm_water_design.doc, Março de 2008

CALEFFI@ (2013). Catálogo técnico 5360, Redutora de pressão com manómetro. http://www.caleffi.pt/pt_PT/Technical_brochures/01026/01026.pdf.

Decreto-Lei nº 23/95, D.R. *I Série-A*, Ministério do Ambiente, 194 (1995-08-23), pp. 5284-5319. Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPPDADAR).

Dias, N., Covas, D. e Ramos, H.. (2006). “Melhoria do desempenho técnico de sistemas de distribuição de água através do controle de pressão”. XII SILUBESA Figueira da Foz..

EMABESA (2003).”Normas técnicas de abastecimento. Empresa Municipal de Águas de Benalmadena”.

Ferreira, S. M. M. C. F. (2009). “Uso Eficiente da Água em Instalações Colectivas e Similares. Contributo para a Caracterização do Uso e Aumento da Eficiência”. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Sanitária.

INAG (2001). Plano Nacional da Água (PNA). Instituto da Água e Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território.

INAG (2008). ”Relatório do Estado do Abastecimento de Água e Drenagem e Tratamento de Águas Residuais. Sistemas Públicos Urbanos”. Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR 2008).

INAG/MAOT (2001). “Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (INAG/MAOT)”. Instituto da Água. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território. Lisboa, Setembro de 2001.

Kibert, C. (2008). ”Sustainable Construction – Green Building Design and Delivery”, New Jersey, USA.

Marunga, A., Hoko, Z. e Kaseke, E. (2006). “Pressure management as a leakage reduction and water demand management tool: The case of the city of Mutare, Zimbabwe”. *Physics and Chemistry of the Earth* 31, pp. 763-770.

Mayer, P., DeOreo, B., Opitz, E., Kiefer, J., Davis, W., Dziegielewski, B. e Nelson, J. (1999).”Residential End Uses of Water”. American Water Works Association Research Foundation (AWWARF), USA.

NP EN 1112:2001. “Torneiras sanitárias. Chuveiros para torneiras sanitárias para os sistemas de alimentação de água dos tipos 1 e 2. Especificações técnicas gerais”.

Pedroso, V. M. R. (2000). “Manual dos sistemas prediais de distribuição e drenagem de águas”. Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia do Ambiente (LNEC).

Reis, L. F. R. e Cheung, P. B. (2006). “Redução de vazamentos via válvulas redutoras de pressão (VRP’s)”. VI SEREA – Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água João Pessoa (Brasil).

Rossa, S. R. L. G. S. (2006), “Contribuições para um Uso mais Eficiente da Água no Ciclo Urbano.Poupança de Água e Reutilização de Águas Cinzentas”. Dissertação apresentada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente.

Sá Marques, J. A. A. e Sousa, J. J. O. (2008). “Hidráulica Urbana. Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais”. Imprensa da Universidade de Coimbra

Tchobanoglous, G., Burton, F.L. e Stensel, H.D. (2003). “Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse”. Metcalf & Eddy, Inc., McGraw-Hill.

Ulanicki, B., Bounds, P. L. M., Rance, J. P. e Reynolds, L. (2000). “Open and closed loop pressure control for leakage reduction”. Urban Water 2, pp. b105-114.

Vickers, A. (2001). “Handbook of Water use and Conservation”. Waterlow Press, Amherst, Massachusetts.

Yazbeck Filho, V. D., Souza, R. S., Polizer, M. e Steffen, J. L..(2005) I-062 – “Minimização de perdas físicas em redes de distribuição de água com a utilização de algoritmos genéticos”. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Yazbek Filho, V. D. (2003). “Minimização de perdas físicas em redes de distribuição de água com a utilização de algoritmos genéticos”. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

ANEXO A

Quadro A.1 – Caudais nos vários dispositivos para o balneário masculino

Chuveiros		1	2	3	4	5	6	7	8	Torneiras		1	2	3	4
Caudais (L/min)										Caudais (L/min)					
P1=3 bar	Ensaio 1	14,120	13,051	11,806	14,648	16,950	15,630	13,424	12,055	Ensaio 1	29,290	22,291	23,260	8,609	
	Ensaio 2	14,334	12,960	11,570	14,817	16,061	13,599	12,628	12,861	Ensaio 2	28,080	20,039	24,610	7,711	
	Ensaio 3	14,606	11,887	10,662	12,748	14,727	14,731	11,197	11,303	Ensaio 3	25,066	19,818	22,060	8,932	
	Ensaio 4	14,939	13,732	10,805	12,725	14,849	13,042	12,602	11,928	Ensaio 4	26,239	23,538	25,011	8,898	
	Ensaio 5	14,987	13,524	12,663	12,573	15,674	14,183	11,598	12,103	Ensaio 5	26,400	22,314	24,695	8,340	
	Média	14,597	13,031	11,501	13,502	15,652	14,237	12,290	12,050	Média	27,015	21,600	23,927	8,498	
P2=2 bar	Ensaio 1	11,001	10,195	10,202	11,620	11,858	10,667	9,329	9,478	Ensaio 1	22,983	16,316	20,171	7,530	
	Ensaio 2	12,316	9,574	10,001	11,133	13,352	11,794	9,999	10,597	Ensaio 2	22,500	18,872	19,911	7,137	
	Ensaio 3	12,216	10,774	10,007	10,871	12,305	10,579	10,541	9,875	Ensaio 3	20,581	18,398	19,490	6,981	
	Ensaio 4	12,476	10,581	8,907	11,559	13,001	12,472	10,379	10,172	Ensaio 4	24,798	18,616	19,233	6,590	
	Ensaio 5	12,091	11,476	8,508	10,608	12,664	11,748	10,357	9,528	Ensaio 5	22,982	17,168	19,024	6,822	
	Média	12,020	10,520	9,525	11,158	12,636	11,452	10,121	9,930	Média	22,769	17,874	19,566	7,012	
P3=2,5 bar	Ensaio 1	12,223	11,891	10,524	12,782	13,715	11,887	11,109	10,362	Ensaio 1	22,461	20,585	21,012	8,142	
	Ensaio 2	13,597	12,142	9,916	11,797	14,787	13,638	10,675	11,926	Ensaio 2	26,083	17,837	23,381	7,970	
	Ensaio 3	14,347	12,358	10,485	11,526	15,369	13,942	12,301	10,192	Ensaio 3	24,088	21,223	21,552	7,236	
	Ensaio 4	14,013	11,018	11,369	12,748	13,002	11,591	10,125	10,672	Ensaio 4	23,914	20,056	20,763	8,368	
	Ensaio 5	12,870	12,037	10,180	13,596	14,446	13,131	11,740	11,897	Ensaio 5	23,791	18,819	20,591	7,484	
	Média	13,410	11,889	10,495	12,490	14,264	12,838	11,190	11,010	Média	24,067	19,704	21,460	7,840	

Quadro A.2 – Caudais nos vários dispositivos para o balneário feminino

Chuveiros		1	2	3	4	5	6	7	8	Torneiras		1	2	3	4	
Caudais (L/min)										Caudais (L/min)						
P1=3 bar	Ensaio 1	14,651	10,704	13,716	15,846	16,129	8,312	14,548	14,566	Ensaio 1	5,584	5,874	12,952	11,132		
	Ensaio 2	13,484	10,243	14,533	15,177	15,983	9,037	13,710	15,749	Ensaio 2	5,070	5,882	10,894	10,915		
	Ensaio 3	12,497	10,977	12,737	13,734	14,797	9,080	15,188	16,063	Ensaio 3	5,052	5,710	12,424	11,337		
	Ensaio 4	13,264	10,850	12,383	13,397	15,351	7,646	16,089	14,312	Ensaio 4	5,320	5,762	11,777	11,708		
	Ensaio 5	14,675	10,175	14,281	15,060	15,191	7,825	14,965	15,835	Ensaio 5	4,904	4,208	11,853	12,308		
	Média	13,714	10,590	13,530	14,643	15,490	8,380	14,900	15,305	Média	5,186	5,487	11,980	11,480		
P2=2 bar	Ensaio 1	11,258	8,592	10,836	12,127	11,369	6,955	11,395	11,156	Ensaio 1	4,358	4,730	9,345	9,347		
	Ensaio 2	10,529	8,863	11,742	11,838	12,575	6,381	13,064	13,082	Ensaio 2	4,500	4,426	10,720	10,062		
	Ensaio 3	10,982	8,052	11,957	11,883	13,235	6,851	11,896	13,402	Ensaio 3	4,246	4,310	10,115	8,739		
	Ensaio 4	10,594	8,967	10,088	11,460	13,266	7,300	12,160	11,239	Ensaio 4	4,017	4,668	9,697	8,821		
	Ensaio 5	12,938	9,351	10,677	13,192	11,905	6,913	11,585	13,072	Ensaio 5	3,954	3,766	9,273	10,027		
	Média	11,260	8,765	11,060	12,100	12,470	6,880	12,020	12,390	Média	4,215	4,380	9,830	9,399		
P3=2,5 bar	Ensaio 1	12,593	9,394	11,781	12,443	14,022	7,658	12,338	13,851	Ensaio 1	4,368	4,468	12,021	10,178		
	Ensaio 2	11,920	10,650	13,523	14,544	12,889	8,116	14,444	13,785	Ensaio 2	5,089	5,270	10,527	9,602		
	Ensaio 3	12,226	9,972	11,332	13,001	15,227	7,656	14,359	15,108	Ensaio 3	5,201	4,865	10,544	11,030		
	Ensaio 4	12,579	9,189	13,335	14,677	14,360	7,800	13,414	13,523	Ensaio 4	5,133	4,945	11,367	10,019		
	Ensaio 5	13,681	9,245	11,778	13,550	13,451	7,219	12,496	13,533	Ensaio 5	3,860	5,202	10,242	11,171		
	Média	12,600	9,690	12,350	13,643	13,990	7,690	13,410	13,960	Média	4,730	4,950	10,940	10,400		

Quadro A.3 – Caudais nos vários dispositivos para os balneários dos docentes e funcionários

		WC Professores	WC Funcionários	Gabinete Profesores		
		Lavatório	Lavatório	Bidé	Lavatório	Chuveiro
		Caudais (L/min)				
P1=3 bar	Ensaio 1	26,79111606	7,666858089	9,1067492	15,2254947	14,404415
	Ensaio 2	28,82540666	7,17807944	9,32303717	17,9412315	13,386695
	Ensaio 3	25,97008271	6,723601825	8,09932258	17,2815652	13,960773
	Ensaio 4	26,6470809	7,299841456	8,77472057	15,6090473	15,395748
	Ensaio 5	26,76631367	7,48161919	9,14617048	16,0426612	14,902368
	Média	27	7,27	8,89	16,42	14,41
P2=2 bar	Ensaio 1	22,01649007	5,835628834	7,05323512	13,3697465	11,045761
	Ensaio 2	22,71331126	6,272488479	7,14790027	14,4012904	12,269753
	Ensaio 3	20,46152318	6,202445448	6,82638189	13,0262807	13,061064
	Ensaio 4	22,11291391	5,834008301	7,44372885	13,7096918	10,868008
	Ensaio 5	21,19576159	5,355428938	7,56375387	12,5629907	12,285414
	Média	21,7	5,9	7,207	13,414	11,906
P3=2,5 bar	Ensaio 1	22,95305185	6,529282785	8,02030592	14,189671	13,768431
	Ensaio 2	26,06823542	6,795440992	7,64348558	16,1662458	13,81682
	Ensaio 3	26,05768212	6,516974425	8,81473617	15,2523805	11,932882
	Ensaio 4	24,19170782	7,029943388	7,35696731	13,6521032	12,480187
	Ensaio 5	24,22932279	6,078358409	8,76450502	15,2645996	13,846681
	Média	24,7	6,59	8,12	14,905	13,169