

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Isabel Ribeiro da Silva

Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Habitações Unifamiliares: Funcionamento Hidráulico de um Sistema de Drenagem Sifónica

Outubro de 2014

Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Habitações Unifamiliares: Funcionamento Hidráulico de um Sistema de Drenagem Sifónica
Ana Isabel Ribeiro da Silva
UMinho | 2014

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Isabel Ribeiro da Silva

Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Habitações Unifamiliares: Funcionamento Hidráulico de um Sistema de Drenagem Sifónica

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professora Doutora Maria Manuela Carvalho de Lemos Lima
Professor Doutor António Curado

Outubro de 2014

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível devido ao suporte financeiro e ao apoio de um conjunto de entidades e pessoas, a quem gostaria de expressar o meu agradecimento.

Cabe, desde já, agradecer à Professora Doutora Manuela Lima por todo o empenho, orientação, disponibilidade, incentivo e as longas horas concedidas para a formação e ensinamentos prestados ao longo da elaboração deste trabalho, sem o que não seria possível a obtenção deste resultado final.

Fica aqui também o agradecimento ao Professor Doutor António Curado que, desde o início, disponibilizou todo o seu empenho e auxílio ao longo de todo este projeto.

À Geberit Portugal um muito obrigado por toda a colaboração e suporte fornecidos. Em especial, ao Senhor Rui Costa, representante dessa mesma empresa, que desde a primeira abordagem ofereceu todos os seus préstimos e colaboração, bem como o seu "*know-how*", disponibilizando meios materiais e humanos para viabilizar toda a parte experimental.

Não posso, também, deixar de agradecer toda a colaboração que me foi prestada pelo Instituto Politécnico de Viana do Castelo, pela abertura demonstrada e cedência de espaço e materiais tendo em vista o objetivo da presente dissertação, nomeadamente à professora Élia Fernandes.

Pais, irmão e resto da família, que ao longo destes meses demonstraram uma paciência inimaginável, sobretudo nos momentos menos bons, e pelo apoio que foram manifestando nas ocasiões mais difíceis de ultrapassar.

Agradeço ainda aos amigos que me acompanharam nesta etapa da minha vida com particular destaque para: Diana Oliveira, Mariana Andrade, Ricardo Azevedo, João Rodrigues, João Oliveira, Véronique Ramos, Débora Sousa, Mariana Carvalho, Isabel Lima, Nádia Ribeiro, Inês Costa, Sara Ferreira, Adriana Pereira, Carlos Araújo, Bruno Machado, José Carlos, Telma Faria, Cátia Lopes, Daniela Peixoto e Tiago Coto, por todo o apoio, solidariedade, paciência e companheirismo que demonstraram.

Por último importa agradecer a todo o leque de professores que contribuíram para a minha formação e aprendizagem nesta Universidade ao longo destes cinco anos.

RESUMO

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais permitem substituir a água de uso doméstico, sem exigência de potabilidade, por água pluvial devidamente recolhida, tratada e fornecida. Para que um sistema de aproveitamento de águas pluviais seja considerado sustentável, é preciso que seja: ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo, e culturalmente diverso.

O elemento chave num sistema de aproveitamento de águas pluviais é o dispositivo *first-flush*, que permite desviar as primeiras chuvas, que transportam consigo uma carga significativa de elementos poluentes e não são adequadas sequer para usos não potáveis.

Esta dissertação apresenta um estudo teórico e experimental da problemática do aproveitamento das águas pluviais em habitações unifamiliares. Tem como objetivo específico adaptar um sistema de aproveitamento de águas pluviais instalado em laboratório, incorporando um dispositivo *first-flush*, e descrever o seu funcionamento hidráulico em sistemas de drenagem sifónica. Efetuaram-se ensaios experimentais para determinar os volumes de água rejeitada e armazenada em função do período de funcionamento das válvulas. Optou-se, na realização dos ensaios, por um igual caudal debitado próximo de 3,5 Ls^{-1}, por diversas durações de precipitação (4, 5 e 6 min) e diversos períodos de funcionamento do dispositivo *first-flush* (aproximadamente o valor de 1, 2, 3, 4 e 5 min). Observou-se, igualmente, o escoamento no interior das condutas, utilizando um corante (azul-de-metileno).

Os resultados obtidos evidenciaram que o modelo experimental utilizado apresenta, já transposto para a realidade, uma área de cobertura próxima de 150 m^2, segundo a ETA 0701. Relativamente ao período de tempo em que ocorre o desvio de água a rejeitar, este deve ser sempre inferior a 3 minutos e 18 segundos. Os maiores níveis de água alcançados na cobertura são no momento de entrada em pressão devido ao aumento do volume de água existente na tubagem.

Por fim, em relação à visualização do escoamento verificou-se que o movimento da água ocorre sem qualquer retorno, evitando a possível contaminação de água mais limpa, e a sua velocidade é elevada e uniforme para tubagem de igual diâmetro.

Palavras-chave: Sistemas de aproveitamento de águas pluviais, dispositivo *first-flush*, sistemas de drenagem sifónica, volume de água rejeitada e armazenada, visualização do escoamento.

ABSTRACT

Rainwater harvesting systems allows the use of properly collected, treated and supplied rainwater for domestic use in situations without good water quality requirement. To be sustainable, a rainwater harvesting system must be truly ecological, economically viable, socially fair and culturally diverse.

The key element for this system is the *first-flush* device, which allows the deviation of the collected rainwater during the first few min of a major rainfall event, which carry a significant load of pollutants and are not suitable even for non potable use.

This dissertation presents a theoretical and experimental study of rainwater harvesting in single family dwellings. The main aims are to adapt a rainwater harvesting system installed in a laboratory, by incorporating a *first-flush* device, and to describe the hydraulic operation of siphonic drainage systems. Experiments were carried out in order to determine the volumes of stored and discarded water, according to the period of valves operation. It was chosen, during the experiments, an equal water flow rate around 3,5 Ls^{-1} and different rainfall durations (4, 5 and 6 min), as well as different periods of operation of the *first-flush* device (about 1 2, 3, 4 and 5 min). The flow inside the pipelines was observed by means of a tracer (methylene blue).

The results from the experimental model used show (transposed into reality) a coverage area around 150 m^2. Relating to the period of time in which the rejected water diversion occurs, this should be always less than 3 minutes and 18 seconds. The higher water levels in the coverage were achieved instant when the system becomes pressurized due to the increase of water volume into pipes and because it was a free surface flow.

Finally, in relation to the visualization of the flow, it was found that the movement of water occurs without any feedback, avoiding possible contaminations of the clean water, and its velocity is high and uniform for pipes with the same diameter.

Key words: rainwater harvesting, *first-flush* device, siphonic drainage systems, water volume stored and discarded, visualization of flow systems.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. Interesse e enquadramento do tema 1

1.2. Objetivos 2

1.3. Estrutura da dissertação 3

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5

2.1. Enquadramento 5

2.1.1. Consumo de água em Portugal 8

2.1.2. Necessidade e conceito de aproveitamento de águas pluviais 8

2.2. Evolução histórica do aproveitamento da água pluvial a nível nacional 9

2.3. Aplicações na atualidade a nível nacional 11

2.4. Legislação e normalização 12

2.5. Vantagens e desvantagens de SAAP 14

2.5.1. Vantagens 14

2.5.2. Desvantagens 14

2.6. A aplicação prática do SAAP 15

2.7. Qualidade da água pluvial 16

2.7.1. Tratamento 17

2.7.2. Recomendações 18

2.8. Constituição de SAAP 19

2.8.1. Descrição geral 19

2.8.2. Sistema de recolha/captação 20

2.8.3. Sistema de transporte 21

2.8.4. Sistema de filtragem/dispositivo *first-flush* 22

2.8.5. Sistema de armazenamento 23

2.8.5.1 Tipos de reservatórios 23

2.8.5.2 Características do reservatório 24

2.8.6. Sistema de tratamento 25

2.8.7. Sistema de distribuição 25

2.8.8. Acessórios 26
2.8.8.1 Conjunto de sucção flutuante 26
2.8.8.2 Amortecedor 26
2.8.8.3 Sifão 27
2.9. Dimensionamento de SAAP 27
2.9.1. Método de Rippl 27
2.9.2. Métodos Práticos 28
2.9.2.1 Método Alemão 29
2.9.2.2 Método Inglês 29
2.9.2.3 Método Brasileiro 30
2.9.2.4 Método Australiano 30
2.10. Análise de estudos anteriores 32
2.10.1. Aplicação de SAAP a edifícios hospitalares 32
2.10.2. Análise de SAAP a edifícios de habitação 32
2.10.3. Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental - Simulador para avaliação da viabilidade 33
2.10.4. Outros projetos desenvolvidos em Portugal 34
2.10.4.1 Empreendimento cooperativo da Ponte da Pedra 34
2.10.4.2 Estádio AXA, Braga 35
3. SISTEMA SIFÓNICO OU SOB PRESSÃO 37
3.1. Introdução 37
3.2. Composição dos sistemas sifónicos 38
3.2.1. Ralos 38
3.2.2. Tubagens 39
3.2.3. Sistemas de fixação 41
3.3. Funcionamento dos sistemas sifónicos 42
3.3.1. Princípio de funcionamento 42
3.3.2. Modo de funcionamento 45
3.4. Vantagens e desvantagens 48

3.5. Aplicações 49
3.6. Dimensionamento do sistema sifónico 50
3.7. Recomendações 51
3.8. Sistema *first-flush* tradicional *vs* Sistema *first-flush* para drenagem sifónica. 53
4. MÉTODO EXPERIMENTAL 55
4.1. Sistema *first-flush* e instalação experimental 55
4.2. Equipamento de medição e visualização 62
4.2.1. Equipamento de visualização 62
4.2.2. Medição das alturas de água 63
4.3. Condições experimentais 63
4.4. Metodologia experimental 66
4.5. Incerteza experimental 67
4.5.1. Incerteza experimental da quantidade de corante vertido no ralo sifónico 67
4.5.2. Incerteza experimental do volume em R2 68
4.5.3. Incerteza experimental do caudal debitado 69
4.5.4. Incerteza experimental da determinação dos instantes 70
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 71
5.1. Resultados experimentais 71
5.1.1. Experiências sem corante 71
5.1.2. Experiências com corante 81
5.1.2.1 Duração de precipitação de 6 min 81
5.1.2.2 Duração de precipitação de 5 min 88
5.1.2.3 Duração de precipitação de 4 min 90
5.2. Análise de resultados 92
5.2.1. Precipitação caída na cobertura 92
5.2.2. Relação entre tempo e volume 94
5.2.2.1 Volume desviado 94
5.2.2.2 Volume armazenado 95
5.2.2.3 Volume desviado e armazenado 95

5.2.3. Relação entre tempo e altura de água na cobertura 97
5.2.3.1 Experiências sem corante 97
5.2.3.2 Experiências com corante..... 102
5.2.4. Visualização da mistura água- corante 107
5.3. Conclusões 112
6. CONCLUSÃO 115
6.1. Conclusões 115
6.2. Sugestões para trabalhos futuros 117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 119
Lista de endereços de sites consultados 123
ANEXOS 125
Anexo I - Ficha de Segurança do HCl 127
Anexo II – Ficha de Segurança de Azul-de-metileno 135
Anexo III – Relação entre tempo e altura de água na cobertura 143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Distribuição da água no Planeta Terra 5
Figura 2.2 - Consumo médio diário de água no mundo. Disponível em http://aguaevida3b2011.blogspot.pt/2011/04/biotecnologia.html (consultado em Janeiro 2014) 6
Figura 2.3 - Disponibilidade de água em cada país por habitante ao ano. Disponível em FAQ, Nations Unies, World Resources Institute (2006), (consultado em Janeiro 2014) 7
Figura 2.4 - Distribuição do consumo de água numa habitação. Disponível em sistemas de aproveitamento de águas pluviais (2012), OLI (consultado em Janeiro 2014) .. 9
Figura 2.5 – (a) Eirado e comunicação à cisterna, (b) Poço Árabe do Castelo de Silves. Disponível em http://kimbolagoa.blogs.sapo.pt/tag/lagoa (consultado em Janeiro 2014), em http://www.igespar.pt/en/patrimonio/pesquisa/geral/patrimonioimovel/detail/69722/ (consultado em Janeiro 2014) 10
Figura 2.6 – (a) Esquema base de um SAAP. Disponível em http://www.cidadessustentaveis.org.br/boas-praticas/sistema-de-aproveitamento-de-agua-de-chuva-em-florianopolis-reduz-o-consumo-e-ajuda-da (consultado em Janeiro 2014). (b) Isometria do esquema base de um SAAP. Disponível em http://www. http://modaetica.com.br/com-que-roupa-lavada-e-passada-eu-vou/ (consultado em Dezembro 2014). 20
Figura 2.7 – Representação da malha de plástico ou metal para proteção. Disponível em Bertolo (2006) / (consultado em Janeiro 2014) 21
Figura 2.8 – Esquema do dispositivo de rejeição de água do telhado. Disponível em http://www.raincentre.in/ (consultado em Janeiro 2014) 23
Figura 2.9 – (a) Flutuante, (b) esquema de reservatório com flutuante. Disponível em http://construindosustentavel.blogspot.pt/2010/04/aproveitamento-de-agua-pluvial-das.html (consultado em Janeiro 2014) 26
Figura 3.1 – Composição de um sistema sifónico. Retirado de Jay R. Smith Manufacturing Company 38
Figura 3.2 – Ralo sifónico e sua constituição. Retirado de catálogo da empresa Geberit 39
Figura 3.3 – Sistema de fixação. Retirado do manual da empresa Geberit 42

Figura 3.4 – Principio de Bernoulli aplicado a escoamento de fluidos com viscosidade e atrito. Disponível em http://hidrokinesiauv.blogspot.pt/2011/10/principios-hidraulicos-3-principio-de.html (consultado em Maio 2014) 43
Figura 3.5 – Efeito de Venturi (Pereira, 2012) 44
Figura 3.6 – Escoamento num ralo sifónico. Retirado de Jay R. Smith, 2008 46
Figura 3.7 – Escoamento na tubagem com caudal entre 10 % e 15 % do caudal de projeto. Retirado de Jay R. Smith, 2008.....46
Figura 3.8 – Escoamento na tubagem com caudal entre 15 % e 60 % do caudal de projeto. Retirado de Jay R. Smith, 2008.....47
Figura 3.9 – Escoamento na tubagem com caudal entre 60 % e 95 % do caudal de projeto. Retirado de Jay R. Smith, 2008.....47
Figura 3.10 – Escoamento na tubagem com caudal superior a 95 % do caudal de projeto. Retirado de Jay R. Smith, 2008.....47
Figura 3.11 – Aplicação do sistema sifónico (a) em cobertura plana, (b) em cobertura tipo *shed*. Retirado do manual da empresa Geberit.....50
Figura 3.12 – Redução de diâmetro (a) pelo bordo superior e (b) pelo bordo inferior (Pereira, 2012).....52
Figura 3.13 – Aumento de diâmetro nas tubagens horizontais pelo bordo inferior (Pereira, 2012).....52
Figura 4.1 – (a) Cobertura em acrílico e posicionamento dos 4 chuveiros, (b) Quadro elétrico onde se aciona o início da queda de água.....55
Figura 4.2 – Instalação experimental (a) vista global, (b) esquema da instalação com definição dos diâmetros e comprimentos de cada troço de tubagem em acrílico (Geberit, 2014) 57
Figura 4.3 – Forquilha dotada de válvulas motorizadas do dispositivo *first-flush* (a) vista lateral, (b) esquema com a indicação dos reservatórios a jusante 59
Figura 4.4 – (a) Válvulas monitorizadas 1 e 2, (b) Quadro elétrico que controla as válvulas..60
Figura 4.5 – (a) R1, (b) Esquema de R1 (dimensões em metros).....61
Figura 4.6 - (a) R2, (b) Esquema de R2 (dimensões em metros).....61
Figura 5.1 - Imagem experiência 1.2 (a) ao 1,31 min, (b) aos 3,55 min.....73
Figura 5.2 - Imagem da experiência 2.2 (a) ao 1,35 min, (b) aos 6,19 min.....75
Figura 5.3 - Imagem da experiência 3.2 (a) ao 1,34 min, (b) aos 6,19 min.....77
Figura 5.4- Imagem da experiência 4.1 (a) ao 1,43 min, (b) aos 6,28 min.....78
Figura 5.5 – Imagem da experiência 5.1 (a) ao 1,34 min, (b) aos 6,18 min 80

Figura 5.6- Imagem da experiência 6.3 (a) ao 1,53 min, (b) aos 6,23 min 83
Figura 5.7- Imagem da experiência 6.3 (a) ao 1,48 min, (b) ao 1,52 min, (c) ao 1,54 min..... 84
Figura 5.8– Imagem da experiência 7.3 (a) ao 1,37 min, (b) aos 6,20 min..... 86
Figura 5.9 - Imagem da experiência 8.2 (a) ao 1,38 min, (b) aos 6,22 min 87
Figura 5.10- Tempo/Volume desviado de todos os ensaios 94
Figura 5.11 - Tempo/Volume armazenado de todos os ensaios 95
Figura 5.12 – Tempo/Volume desviado e armazenado de todos os ensaios 95
Figura 5.13 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 1.1, (b) 1.2, (c) 1.3 98
Figura 5.14 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 1..... 99
Figura 5.15 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 2..... 100
Figura 5.16 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 3..... 101
Figura 5.17 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 4..... 101
Figura 5.18 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 5..... 102
Figura 5.19 - Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 6 103
Figura 5.20 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 7..... 104
Figura 5.21 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 8..... 104
Figura 5.22 - Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 9 105
Figura 5.23 - Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 10 106
Figura 5.24 - Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 11 107
Figura 5.25 – Tonalidades diferentes da mistura água-corante (a) na experiência 6.2, (b) (c) na experiência 6.3, (d) e na experiência 7.3..... 109
Figura 5.26 – Imagens da experiência 9.2 (a) no momento de entrada em pressão, (b) no momento da quebra de pressão, (c) no momento de fim de quebra de pressão, (d) e no momento de reentrada em pressão 112
Figura AIII.1 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 2.1, (b) 2.2, (c) 2.3 143
Figura AIII.2 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 3.1, (b) 3.2, (c) 3.3 144
Figura AIII.3 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 4.1, (b) 4.2, (c) 4.3 145
Figura AIII.4 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 5.1, (b) 5.2, (c) 5.3 146

Figura AIII.5 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 6.1, (b) 6.2, (c) 6.3 147
Figura AIII.6 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 7.1, (b) 7.2, (c) 7.3 148
Figura AIII.7 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 8.1, (b) 8.2, (c) 8.3 149
Figura AIII.8 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 9.1, (b) 9.2, (c) 9.3 150
Figura AIII.9 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 10.1, (b) 10.2, (c) 10.3 151
Figura AIII.10 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 11.1, (b) 11.2, (c) 11.3 152

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Casos nacionais de aproveitamento de águas pluviais 11
Tabela 2.2 - Vantagens e desvantagens de SAAP. Retirado Kobiyama et al., 2005 15
Tabela 2.3 - Variação da qualidade da água pluvial devido à área de coleta (Group Raindrops, 1995) 16
Tabela 2.4- Diferentes qualidades de água para diferentes aplicações (adaptado de Group Raindrops, 1995) 17
Tabela 2.5 - Valores dos coeficientes de escoamento (ANQIP - ETA 0701, 2009) 21
Tabela 2.6 - Vantagens e desvantagens dos tipos de tanques (DTU, 2003; Oliveira,2008) 24
Tabela 3.1 – Valores médios de alguns parâmetros de três tipos de materiais (Pereira, 2008) 40
Tabela 4.1 – Características do ralo sifónico (Geberit) 56
Tabela 4.2 – Condições de escoamento para a velocidade máxima (Geberit, sendo: d o diâmetro da tubagem em mm; L o comprimento da tubagem em m; h a altura da tubagem em m; Qnom o caudal nominal em Ls^{-1}; Q o caudal efetivo em Ls^{-1}; v a velocidade em ms^{-1}; ΣZeta o fator corretor para o cálculo de perda de carga; L.R+Z a perda de carga contínua, onde L é o comprimento do troço, R é a perda de carga do troço e Z é a diferença de cota entre o início e o final; P a pressão em mbar; Psi a percentagem de enchimento em %.) 57
Tabela 4.3 – Condições de escoamento para a velocidade mínima (Geberit, 2014) 58
Tabela 4.4 – Caracterização do ácido de lavagem 64
Tabela 4.5 – Caracterização do corante 64
Tabela 4.6 – Ensaios para determinar o caudal debitado 65
Tabela 4.7 – Condições experimentais 66
Tabela 4.8 – Incerteza experimental em R2 69
Tabela 4.9 – Incerteza experimental para o caudal debitado 69
Tabela 5.1 – Resultados do ensaio 1 por medições no local 72
Tabela 5.2 – Resultados do ensaio 1 por visionamento das imagens vídeo 72
Tabela 5.3 – Resultados do ensaio 2 por medições no local 74
Tabela 5.4 – Resultados do ensaio 2 por visionamento das imagens vídeo 74
Tabela 5.5 – Resultados do ensaio 3 por medições no local 76
Tabela 5.6 – Resultados do ensaio 3 por visionamento das imagens vídeo. 76

Tabela 5.7 – Resultados do ensaio 4 por medições no local 77
Tabela 5.8 – Resultados do ensaio 4 por visionamento das imagens vídeo 78
Tabela 5.9 – Resultados do ensaio 5 por medições no local 79
Tabela 5.10 – Resultados do ensaio 5 por visionamento das imagens vídeo 80
Tabela 5.11 – Resultados do ensaio 6 por medições no local 82
Tabela 5.12 – Resultados do ensaio 6 por visionamento das imagens vídeo 82
Tabela 5.13 – Resultados experiência 7 por medições no local 85
Tabela 5.14 – Resultados do ensaio 7 por visionamento das imagens vídeo 85
Tabela 5.15 – Resultados do ensaio 8 por medições no local 86
Tabela 5.16 – Resultados do ensaio 8 por visionamento das imagens vídeo 87
Tabela 5.17 – Resultados do ensaio 9 por medições no local 88
Tabela 5.18 – Resultados do ensaio 9 por visionamento das imagens vídeo 89
Tabela 5.19 – Resultados do ensaio 10 por medições no local 89
Tabela 5.20 – Resultados do ensaio 10 por visionamento das imagens vídeo 90
Tabela 5.21 – Resultados do ensaio 11 por medições no local 91
Tabela 5.22 – Resultados do ensaio 11 por visionamento das imagens vídeo 91
Tabela 5.23 – Precipitação inicial nos ensaios sem e com corante 93
Tabela 5.24 – Resumo das experiências do ensaio 2 100
Tabela 5.25 – Resumo das experiências do ensaio 3 100
Tabela 5.26 – Resumo das experiências do ensaio 4 101
Tabela 5.27 – Resumo das experiências do ensaio 5 102
Tabela 5.28 – Resumo das experiências do ensaio 6 103
Tabela 5.29 - Resumo das experiências do ensaio 7 103
Tabela 5.30 - Resumo das experiências do ensaio 8 104
Tabela 5.31 - Resumo das experiências do ensaio 9 105
Tabela 5.32 - Resumo das experiências do ensaio 10 106
Tabela 5.33 - Resumo das experiências do ensaio 11 106
Tabela 5.34 – Velocidade de escoamento 110

NOMENCLATURA

SAAP	– Sistema(s) de Aproveitamento de Água(s) Pluvial(ais)
DL	– Decreto-lei
DQA	– Diretiva Quadro da Água
PNUEA	– Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água
LNEC	– Laboratório Nacional de Engenharia Civil
RT	– Relatório técnico
ANQIP	– Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais
ETA	– Especificações Técnicas (0701 e 0702)
SO_2	– Dióxido de Enxofre
NOx	– Óxidos de nitrogénio
min	– Minutos
s	– Segundos
EN 1253	– European Standard EN 1253
ASME A112.6.9	– American Standard ASME A112.6.9
PVC	– Policloreto de Vinilo
PEAD	– Polietileno de alta densidade
FF	– Ferro Fundido
HCL	– Ácido Clorídrico
R1	– Reservatório 1
R2	– Reservatório 2
V1	– Válvula monitorizada 1
V2	– Válvula monitorizada 2

1. INTRODUÇÃO

1.1. Interesse e enquadramento do tema

A evolução da humanidade tem-nos revelado e conduzido a uma constatação inquestionável: se é verdade que cada vez é maior o consumo de água pelo homem, verdadeira é, de igual modo, a afirmação de que a qualidade e quantidade da água especificamente destinada ao consumo humano se tem degradado e reduzido.

Toda esta problemática tem alertado toda a comunidade para a necessidade da racionalização do uso da água potável e para a procura de sistemas alternativos para aproveitamento da água pluvial (Grando et al., 2011). Efetivamente, a água pluvial pode ser utilizada para satisfação de necessidades tais como lavagem de pisos, rega de jardim e descarga de autoclismos. Por exemplo, nas habitações até 50 % da água que utilizamos pode ser substituída por água pluvial (Magalhães, 2013).

Numa necessária perspetiva de sustentabilidade, importa proceder à implementação de novos paradigmas que envolvam a redução de consumos, a reutilização e reciclagem da água (Rodrigues, 2010). Daí a criação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais (**SAAP**). Para que um SAAP seja considerado sustentável, é preciso que seja: ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo, e culturalmente diverso.

O principal objetivo do SAAP consiste em substituir água de uso doméstico sem exigência de potabilidade, por água pluvial devidamente recolhida e tratada desde a recolha até ao fornecimento (TCEQ, 2007).

Historicamente o aproveitamento de águas pluviais data de há milhares de anos. Na verdade, em algumas regiões (zonas mais áridas) a água da chuva era e é, seguramente, a única forma de se ter acesso à água. Em Portugal o aproveitamento de água pluvial é uma prática antiga mas que foi perdendo relativa preponderância. Porém, a nova realidade obriga ao aproveitamento das águas para se poder alcançar uma eficiência hídrica e uma redução de consumo de água potável.

Um SAAP é constituído por uma superfície de recolha, tubos de queda e reservatório de armazenamento. Associado aos tubos de queda tradicionais utilizam-se filtros e sistemas de remoção das primeiras águas (*first-flush*). Este dispositivo *first-flush* possibilita a eliminação das primeiras águas da chuva, que provêm da lavagem da superfície de recolha e, consequentemente, não têm a qualidade mínima para utilização humana (TCEQ, 2007).

A drenagem da superfície de recolha pode ser efetuada através de um sistema sifónico. No entanto, a utilização de dispositivos *first-flush* adequados a tubos de queda tradicionais, onde o escoamento ocorre com superfície livre, não é compatível com escoamentos sob-pressão. Os sistemas sifónicos, comercializados pela empresa Geberit, podem ser instalados em qualquer tipo de edifício/habitação. Porém, no geral, apenas têm-no sido em edifícios de maior porte, tal como estádios, hotéis, centros comerciais e pavilhões industriais. O sistema é dimensionado mediante o recurso a *software* especializado, em função dos projetos de estruturas, arquitetura do edifício e instalações hidráulicas, designadamente tendo em atenção a localização mais adequada para a colocação dos tubos de queda e a disposição dos ralos (Pereira, 2012). Estes sistemas têm apresentado uma utilização crescente, sendo que é de todo e maior interesse em desenvolver um dispositivo *first-flush* adequado ao seu comportamento hidráulico. Em especial este sistema deverá permitir rejeitar unicamente o volume de água estritamente necessário para a lavagem inicial da superfície de recolha, possibilitando assim maximizar o volume de água da chuva armazenado.

Desta forma se conclui sobre a relevância da atual dissertação, focando o desenvolvimento de um sistema de *first-flush* adequado para sistema sifónicos em escoamentos sob pressão (com características diferentes dos tradicionalmente utilizados), numa ótica de otimização hidráulica do sistema e de poupança efetiva de água.

1.2. Objetivos

Na presente dissertação estuda-se, teórica e experimentalmente, a problemática do aproveitamento das águas pluviais em habitações unifamiliares de uma forma eficiente e sustentável.

Teoricamente estudou-se a constituição, o funcionamento do sistema sifónico, os campos de aplicação deste tipo de sistema, bem como as suas vantagens relativamente aos sistemas tradicionais.

Pela via experimental concebeu-se um dispositivo *first-flush* adequado a um sistema de drenagem sifónica, com o objetivo de compreender o seu funcionamento hidráulico. Para a sua realização recorreu-se à torre hidráulica instalada na Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo. Pretendeu-se, ainda, visualizar o escoamento no interior da tubagem com utilização de um corante, verificar a influência da velocidade no funcionamento de um sistema sifónico e quantificar as primeiras águas a serem excluídas, tendo como objetivo último a minimização do volume de águas rejeitadas.

Desta forma os trabalhos a que se refere esta dissertação foram divididos em cinco fases:

a) a primeira fase consistiu numa pesquisa sobre a modificação do SAAP já construído, dos materiais a utilizar, de maneira a possibilitar a visualização do funcionamento e a trajetória da água no seu interior e de melhorar a eficiência do mesmo.
b) na segunda fase foi feito o levantamento das dimensões de todos os componentes que constituem o SAAP para a posterior realização dos ensaios.
c) na terceira fase realizaram-se 11 ensaios, com igual caudal debitado, mas diferente duração de precipitação e diversos períodos de funcionamento do dispositivo *first-flush*.
d) na quarta efetuou-se a visualização do escoamento com a utilização de um corante (azul-de-metileno) com o objetivo de compreender e visualizar todo o processo, bem como determinar a velocidade dentro das condutas.
e) por fim, na quinta e última fase, trataram-se e analisaram-se os resultados de forma a retirar as conclusões devidas. Ainda, nesta fase, procedeu-se à redação da presente dissertação.

1.3. Estrutura da dissertação

Para além deste capítulo introdutório, a presente dissertação inclui mais 5 capítulos.

No segundo capítulo é apresentada uma síntese de conhecimentos sobre os SAAP, com base em estudos bibliográficos relevantes.

No terceiro capítulo revê-se informação teórica relativamente a sistemas em pressão, o seu funcionamento, composição, as suas vantagens e desvantagens, etc.

No quarto capítulo procede-se à descrição da instalação experimental e dos equipamentos de medição utilizados para a realização dos ensaios, apresentam-se as condições experimentais, descreve-se a metodologia adotada e à identificação da incerteza experimental, associada às diferentes variáveis.

No quinto capítulo descreve-se e analisam-se os resultados obtidos de todos ensaios, nomeadamente, da relação tempo-volume, tempo-altura de água na cobertura, bem como a visualização do escoamento.

No sexto e último capítulo apresentam-se as conclusões finais e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se de uma forma detalhada o conceito, constituição e funcionamento de um SAAP bem como o seu enquadramento no quotidiano dos utilizadores.

2.1. Enquadramento

A água é a base da vida, um dos recursos vitais e mais partilhado em todo o planeta Terra. De toda a sua extensão apenas uma pequena percentagem é utilizada pelo Homem (Vieira, 2012).

Da água doce existente pode dizer-se que a parte disponível para consumo humano se reduz a uma percentagem mínima (Figura 2.1) e que tenderá, ainda, a decrescer perante o aumento da população e respetivo aumento do consumo. Esta crescente procura de água, poderá num futuro próximo limitar o acesso da população a este recurso (Sacadura, 2011).

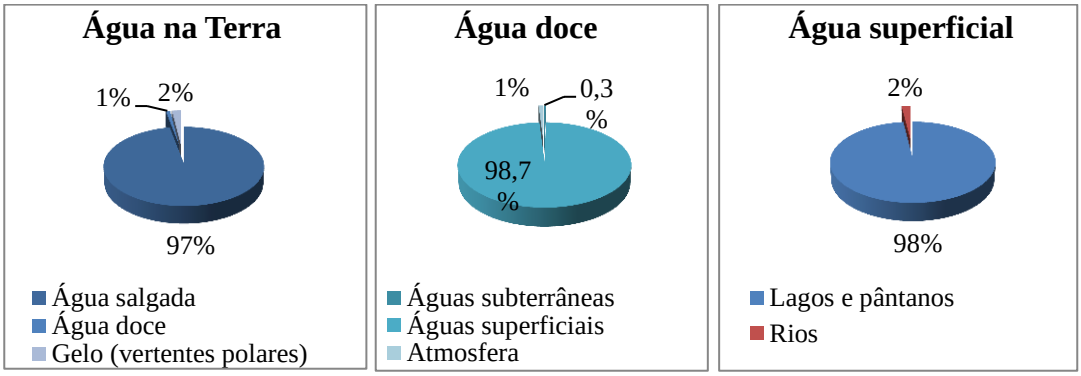


Figura 2.1 - Distribuição da água no Planeta Terra

O processo de urbanização permitiu um crescimento populacional e industrial provocando o aumento da solicitação e do consumo de água potável (Figura 2.2). A crescente implantação de edificações resultou numa redução da área de permeabilidade do solo, impedindo a infiltração e o armazenamento da água pluvial no subsolo (Oliveira, 2008).

Perante tal cenário assistiu-se ao surgimento de dois problemas críticos:

- a escassez da água decorrente da degradação de sua qualidade;
- o aumento de inundações, resultante da crescente impermeabilização de áreas e das fragilidades dos sistemas de drenagem urbana.

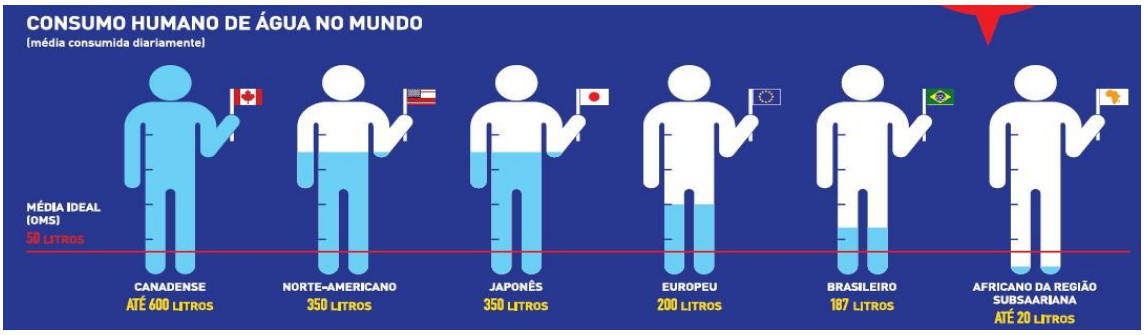


Figura 2.2 - Consumo médio diário de água no mundo. Disponível em http://aguaevida3b2011.blogspot.pt/2011/04/biotecnologia.html (consultado em Janeiro 2014)

Reconhecendo a importância da água e alertando para a necessidade de reduzir e evitar a má utilização dos recursos hídricos, a ONU veio considerar a "água" como o principal tema do Século XXI, declarando o ano de 2003 como o "Ano Internacional da Água Doce".

O economista francês Jacques Attali, destaca mesmo que a procura de água duplicará a cada vinte anos, embora a oferta não sofra alterações (Magalhães, 2013). É igualmente discrepante a sua repartição pelos diversos países, sendo que um terço da Humanidade lida já com o problema da escassez de água.

Na Europa, países como a Alemanha, Espanha, Inglaterra e principalmente a Polónia sofrem de alguma escassez de água. Na Ásia, China e Índia estão em situações críticas, mas no Norte de África e Médio Oriente a situação é ainda mais gravosa (Figura 2.3). O Relatório Anual de Desenvolvimento 2006 – ONU alertou de que um quarto da população da África está sujeito à pressão da falta de água.

O grau de risco de escassez de uma determinada região é determinado pela análise da equação "água/população". De modo a atender às necessidades em termos de agricultura, indústria, energia e meio ambiente, a medida "1700 m^3 por pessoa" convencionou-se como sendo o limiar mínimo nacional. Os hidrologistas definiram igualmente que uma disponibilidade inferior a "1000 m^3" representará uma situação de escassez de água e abaixo dos "500 m^3" equivalerá a escassez absoluta (Sacadura, 2011).

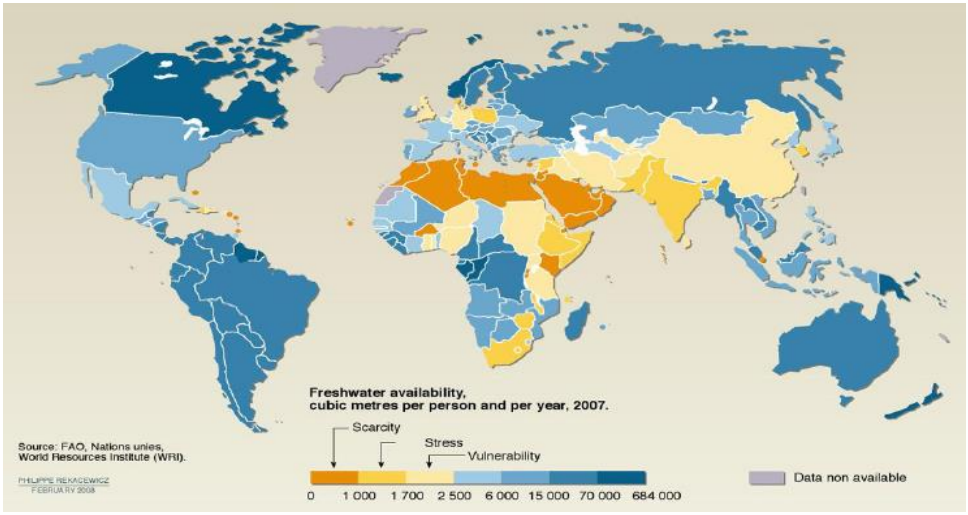


Figura 2.3 - Disponibilidade de água em cada país por habitante ao ano. Disponível em FAQ, Nations Unies, World Resources Institute (2006), (consultado em Janeiro 2014)

Rodrigues (2009) afirma que nos últimos 50 anos a extração de água dos aquíferos teve maior rapidez do que a sua recarga pela chuva, o que levou a uma redução das reservas globais de água em cerca de 62,7 %, chegando a 73 % na América do Sul e a 75 % no continente africano.

Com a escalada destes impactos na sociedade, facilmente se conclui que, a breve trecho, a água passará de bem inesgotável a bem escasso, ganhando uma crescente importância na economia global e afetando negativamente grande parte da população mundial. De acordo com as previsões do World Water Council, 23 países enfrentarão uma escassez absoluta de água em 2025.

Perante todo este cenário, afigura-se como inquestionável que a distribuição de água potável para todos será, certamente, o grande desafio da Humanidade durante o século XXI. Assim sendo, torna-se evidente a urgência em repensar o uso da água.

Em relação à água, será mais apropriado definir um princípio de 4**R**, dado que, para além da **R**edução dos consumos, da **R**eutilização da água e da sua **R**eciclagem, é importante considerar também, numa perspetiva de sustentabilidade, o **R**ecurso a fontes alternativas (Rodrigues, 2010).

2.1.1. Consumo de água em Portugal

Em Portugal, as alterações climáticas e a constante degradação ambiental têm transformado a água num recurso cada vez mais limitado com custos associados progressivamente mais elevados. Exemplo disso será, certamente, o facto de, desde o ano 2000, o preço da água na área de Lisboa ter encarecido 35 %, preço crescente esse que não se prevê se consiga obstar a curto ou médio prazo (ANQIP, 2009).

A nível europeu, Portugal ocupou até há poucos anos um lugar de privilégio no consumo doméstico por habitante, na medida em que não havia grande preocupação na sua utilização (Magalhães, 2013). Porém, atualmente, essa situação alterou-se com a crescente consciencialização da necessidade de moderar e regular o consumo de água e incentivo do aproveitamento de águas pluviais.

O aproveitamento de água pluvial para usos urbanos é uma prática antiga no nosso País e que foi abandonada ao longo do tempo, à medida que os sistemas de abastecimento público de água se foram expandindo e implementando. Ora, esse aproveitamento poderá ser um dos caminhos a adotar para se atingir a eficiência hídrica e reduzir o consumo de água potável. Esta prática já está a ser implementada em Portugal (Oliveira, 2008).

2.1.2. Necessidade e conceito de aproveitamento de águas pluviais

A progressiva consciência sobre a sustentabilidade na utilização dos recursos introduziu novas formas de aproveitar as águas pluviais, não exclusivamente para consumo humano mas, também, para outros usos.

A necessidade da racionalização do uso da água potável levou à procura de sistemas alternativos para aproveitamento da água pluvial, os **SAAP** (Grando et al., 2011). Os SAAP traduzem-se na atividade de coletar (“armazenar”) a água resultante da chuva antes que esta escoe para um curso de água ou infiltre na terra e alimente os cursos de água subterrâneos. O principal objetivo destes sistemas consiste em substituir a água de uso doméstico, sem exigência de potabilidade, por água pluvial devidamente recolhida, tratada e fornecida.

Nas habitações até 50 % da água que utilizamos pode ser substituída por água pluvial (Figura 2.4), devido à maior parte da água não necessitar de apresentar características de potabilidade, por se destinar à rega de jardins, lavagens de carros, utilização na máquina de lavar a roupa, e descarga de autoclismos (Magalhães, 2013).

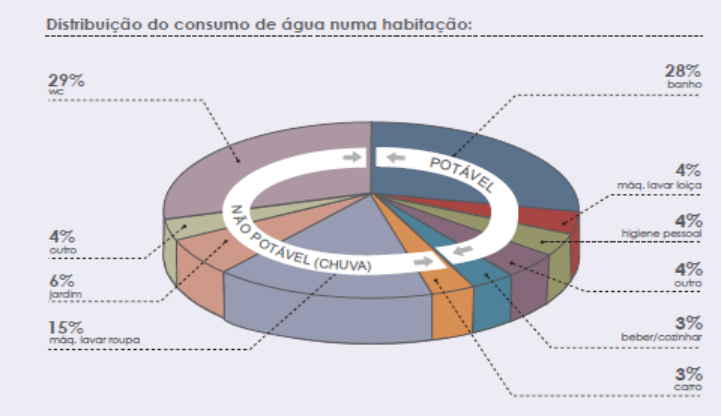


Figura 2.4 - Distribuição do consumo de água numa habitação. Disponível em sistemas de aproveitamento de águas pluviais (2012), OLI (consultado em Janeiro 2014)

Para que um SAAP seja considerado sustentável, é preciso que seja ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo, e culturalmente diverso. Ecologicamente correto na medida em que se aproveitam as potencialidades que a natureza propicia sem grandes intervenções humanas. Economicamente viável porque os custos não são significativos. Socialmente justo e culturalmente diverso devido ao facto de poder ser acessível a todos independentemente da sua posição social e cultural.

Conforme a Agenda 21 CIB (2000) (Reis et al., 2008) uma possível definição de construção sustentável assentaria na diminuição da utilização de recursos naturais e a conservação do meio ambiente, através de processos construtivos, materiais, componentes de edifícios e conceitos de projetos relacionados com energia.

2.2. Evolução histórica do aproveitamento da água pluvial a nível nacional

No que se refere ao território português, os castelos, conventos e construções tradicionais apresentavam sempre um reservatório e/ou um poço. Os castelos erguidos em sítios estratégicos, muitas vezes a elevada altitude, obrigavam a que as necessidades de água fossem supridas mediante a recolha da água pluvial que era conduzida para reservatórios. Estes

últimos possibilitavam o consumo de água doce no local, permitindo resistir a períodos de guerra e cerco. Como exemplos históricos encontramos: o Castelo de Sesimbra (construído em 1200), que possuía reservatórios de armazenamento de água pluvial e de nascente; a Torre de Belém (construído no século XVI (1515-1519)), em que a água pluvial era recolhida em reservatórios e posteriormente utilizada com diferentes fins; e o Convento dos Templários em Tomar (construído em 1160), abastecido por água pluvial através de dois reservatórios com capacidades de 215 e 145 m^3.

A vila de Monsaraz, no interior do Alentejo, adotou um sistema de recolha de águas pluviais coletivo através de uma complexa rede de caleiras e tubos de queda que encaminhavam as águas para um grande reservatório comum.

No Algarve, devido à fraca precipitação, foram aparecendo SAAP para uso doméstico. A água era recolhida dos telhados e dos terraços e conduzida para poços. Aquando de insuficiência de água recolhida surgia a necessidade de se recorrer a um eirado, isto é, a um vasto terreiro localizado ao nível do terreno com um declive que era utilizado para encaminhar a água pluvial para o interior do poço e através do qual se procedia à extração da mesma (Figura 2.5).



(a) (b)

Figura 2.5 – (a) Eirado e comunicação à cisterna, (b) Poço Árabe do Castelo de Silves. Disponível em http://kimbolagoa.blogs.sapo.pt/tag/lagoa (consultado em Janeiro 2014), em http://www.igespar.pt/en/patrimonio/pesquisa/geral/patrimonioimovel/detail/69722/ (consultado em Janeiro 2014)

No Arquipélago dos Açores, mais precisamente nas ilhas de Santa Maria, Terceira, Graciosa, S. Jorge, Pico, Faial e Corvo, as casas tradicionais continham SAAP. Sendo a Graciosa a ilha com maior carência de água do Arquipélago dos Açores, a necessidade de desenvolver várias estruturas públicas e domésticas para o armazenamento de água (incluindo água pluvial) foi

peremptória. Nas estruturas públicas podemos encontrar tanques e reservatórios enterrados e, como estruturas domésticas, encontramos poços.

Não obstante a sua utilidade, as técnicas de aproveitamento de águas pluvial foram sendo abandonadas ao longo do tempo, à medida que os sistemas de abastecimento público de água passaram a chegar a cerca de 90 % da população.

2.3. Aplicações na atualidade a nível nacional

No que se refere à implementação de SAAP em Portugal, é de referir que esta é, ainda, uma área em desenvolvimento, estando a maioria dos casos de aplicações relacionados apenas com a rega de jardins e com a limpeza de pavimentos e de veículos. Na Tabela 2.1 são apresentados em síntese alguns casos nacionais.

Tabela 2.1 - Casos nacionais de aproveitamento de águas pluviais

Região	Exemplo
Seixal, Corroios	Obra de responsabilidade da empresa Ecoágua, Lda, assenta num sistema implantado numa moradia de Corroios. Tem como objetivo o aproveitamento da água pluvial para rega e abastecimento do autoclismo das casas de banho e da máquina de lavar a roupa.
Lisboa	Outra obra da empresa Ecoágua, Lda, em tudo semelhante à de Corroios.
	Porto Salvo: Sistema instalado no Millennium BCP, localizado no TagusPark, destinado ao aproveitamento de água pluvial para rega.
Fátima, Santarém	No Centro Domus Carmeli (Convento das Carmelitas), em Fátima, foi implantado um SAAP. O sistema é constituído por reservatórios com capacidade de 370 m^3, e tem como objetivo fornecer água para sanitários e rega de jardins.
Açores, Ilha Terceira	O Hotel Terceira Mar Hotel instalou SAAP para rega (TMH, 2003).
Beira Baixo, Castelo Branco	Na Torre de Controlo do Aeródromo foi implantado SAAP tendo em vista a utilização para fins de descarga dos sanitários, com sistema de filtragem prévio (Bertolo, 2006).
Alentejo, Beja	Em Serpa foi concebido um SAAP numa escola (Bertolo, 2006).
Aveiro	<u>Aveiro:</u> A Universidade de Aveiro, associada a um grupo de empresas, iniciou em 2006 um projeto "A Casa do Futuro" em que um dos objetivos era, precisamente, o aproveitamento das águas pluviais para rega. <u>Ílhavo:</u> Foi projetado um SAAP para as novas instalações dos Bombeiros Voluntários. De realçar o facto de os canais que conduzem a água até ao reservatório serem de terra com depuração de água através de macrófitas. Este aproveitamento tem como destino final a lavagem de pavimentos, instalações sanitárias e combate a incêndios. <u>S. João da Madeira:</u> No centro comercial e de lazer "8ºAvenida" foi instalado um SAAP para descarga de sanitários, rega e sistema AVAC.

2.4. Legislação e normalização

A água, como recurso vital, é essencial para satisfazer as necessidades básicas da população humana e para o desenvolvimento da agricultura, pesca, produção de eletricidade, indústria, dos transportes e do turismo. Porém, torna-se necessário integrar a proteção e gestão sustentável da água com as diversas políticas comunitárias de desenvolvimento.

Data da década de 40, do século XX a primeira legislação em Portugal sobre a problemática da água. Em 1943 surgiu a regulamentação para o abastecimento de água e, em 1946, a legislação referente à drenagem de esgotos (Decreto-Lei n.º 207/94 de 6 de Agosto, 1994).

Na segunda metade do século XX, os conceitos e a tecnologia de projeto, execução e gestão de sistemas de distribuição de água e de drenagem de águas residuais tiveram um impulso significativo com a publicação do DL n.º 207/94, de 6 de Agosto de 1994 que atualizou os regulamentos gerais das canalizações de água e de esgoto. Posteriormente, foi publicado o Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto, que definiu o conceito de águas residuais pluviais.

O DL n.º 236/98, de 1 de Agosto, veio estabelecer prossupostos e objetivos de qualidade da água tendo em vista a proteção do meio aquático e melhorar a sua qualidade.

No ano 2000 surgiu, na União Europeia, a Diretiva Quadro da Água (DQA), que deu origem, em 2005, à Lei da Água (DL nº 58/2005 de 29 de dezembro). Esta tem como objetivo melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos, evitando a sua degradação, e promover a utilização da água em quantidade suficiente e de uma forma sustentável.

A legislação nacional aplicável às águas superficiais e subterrâneas, bem como às águas para consumo humano, abrange um elevado número de parâmetros organoléticos, físico-químicos e microbiológicos, que permitem determinar a qualidade da água desde a sua origem até ao ponto de consumo.

O Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), foi publicado em 2001, e tinha como objetivo avaliar a eficiência dos usos da água em Portugal nos setores urbano, agrícola e industrial, preconizando medidas que permitissem uma sua melhor utilização (Almeida et

al., 2006; Baptista et al., 2001). Para esse efeito, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) realizou, em 2005, diversos relatórios técnicos (RT) de apoio a esse programa, nomeadamente, o RT9, para supressão de eventuais compatibilidades e lacunas (Almeida et al., 2006).

Desse relatório concluiu-se que o DL 23/95 e alguns regulamentos municipais eram verdadeiros obstáculos à viabilização da medida da reutilização ou uso de água de qualidade inferior, já que proibiam a utilização de água não potável na habitação para outros usos que não a lavagem de pavimentos, rega, combate a incêndios e fins industriais não alimentares (Artigo 86º).

Impunham-se, assim, que fossem efetuadas alterações legislativas. Um dos aspetos essenciais a incluir em regulamentação específica, a que se faz uma breve alusão nos artigos 86º e 202º do DL 23/95, foi a identificação das redes e dispositivos que transportem água não potável (por exemplo, estabelecimento de código de cor das condutas). Para as redes prediais deveria ser, ainda, consagrada a obrigatoriedade regulamentar de separação, no interior do edifício, das redes de águas pluviais, de águas cinzentas e de águas negras, prevenindo a possibilidade de, futuramente, poderem ser instalados sistemas separativos com reutilização ou utilização de água de qualidade inferior em usos compatíveis. No seguimento da Decisão da Comissão 2005/338/EC e da Decisão da Comissão 2003/235/EC (ambas de 14 de Abril), devem, também, ser elaboradas normas que estabeleçam os critérios e procedimentos de uso de água de qualidade inferior em instalações prediais (semelhante à norma alemã, DIN 1989 – SAAP).

Com a criação, em 2009, das Especificações Técnicas da Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais (ANQIP) – ETA 0701 e ETA 0702, fixaram-se regras técnicas relativas aos SAAP, e normas quanto à certificação deste tipo de sistemas.

A conceção, instalação e exploração dos SAAP (segundo a ETA 0701) têm de respeitar as normas legais em vigor a nível nacional e europeu, nomeadamente as relativas a ruídos e vibrações. O SAAP deve respeitar, ainda, as exigências da Portaria nº 701-H/2008 de 29 de Julho e do Regulamento Geral ou da Norma Europeia EN 12056-3, no que se refere concretamente a caleiras, saídas e tubos de descarga. Negativamente, dir-se-á que esta norma possui natureza meramente indicativa, já que não existe nenhuma legislação específica a nível nacional relativa à matéria do aproveitamento de águas pluvial.

Com a publicação, em 2012, de um novo PNUEA, obter-se-á uma gestão mais eficaz da água, no que se reporta a três parâmetros essenciais: eficiência hídrica, sustentabilidade e eficiência energética.

2.5. Vantagens e desvantagens de SAAP

2.5.1. Vantagens

As evidentes vantagens do aproveitamento das águas pluvial acabam por se repercutir na sustentabilidade ambiental e consequente adoção de uma postura ativa e positiva perante os problemas de escassez deste recurso.

As vantagens fundamentais do aproveitamento das águas pluviais são a:

- redução do consumo de água potável e do custo de fornecimento da mesma;
- melhor distribuição do volume da água no sistema de drenagem urbana, o que ajuda a controlar as cheias.

Para além de ser uma medida de conservação de água, a água pluvial pode ter benefícios na poupança da energia. Acresce que poderá, ainda, contribuir para uma redução dos efeitos de erosão local e a diminuição de inundações resultantes do escoamento superficial, permitindo que as águas respetivas sejam recolhidas e armazenadas para utilização.

Originariamente, a água pluvial é, inequivocamente, uma fonte de água pura. A sua pureza torna-a um recurso atrativo e vantajoso para diversas indústrias.

A acrescer a todas estas vantagens, não podemos esquecer que os meios e tecnologias necessárias para a captação e armazenamento de água pluvial são, normalmente, simples de instalar e de fácil utilização.

2.5.2. Desvantagens

Obviamente, que todo este sistema também apresenta vulnerabilidades, naturalmente associadas à dependência direta da variabilidade temporal da precipitação (Group Raindrops,

1995) e à qualidade da água, que é indissociável da saúde humana e do bom funcionamento das componentes do sistema.

Por outro lado, o custo da instalação de um SAAP, bem como a sua manutenção (de forma a evitar problemas sanitários) é, igualmente, outro fator a ter em atenção, já que ele tenderá a decrescer em função do aumento da concorrência na produção de equipamentos e a sua evolução tecnológica.

Em resumo, e do posto de vista económico, social e ambiental, a Tabela 2.2 apresenta as vantagens e desvantagens do aproveitamento das águas pluviais.

Tabela 2.2 - Vantagens e desvantagens de SAAP. Retirado Kobiyama et al., 2005

	Vantagens	Desvantagens
Economico	Redução do gasto mensal com água e esgoto.	Dependendo da tecnologia empregada, pode ter alto custo inicial.
	Aumento da renda familiar mensal, após retorno do investimento inicial.	Pode aumentar o gasto com energia elétrica.
Social	Garantia da qualidade de vida pela certeza da não falta de água e seus inconvenientes.	
	Melhoria da imagem perante a sociedade, órgãos ambientais, etc.	
Meio ambiente	Preservação dos recursos hídricos	
	Contribui na contenção de enxurradas que provocam alagamentos e enchentes.	

2.6. A aplicação prática do SAAP

Em conjunto com as entidades responsáveis pela conceção, normalização, os técnicos que atuam no terreno devem, de acordo com ferramentas concetuais metodológicas e técnicas, contribuir para um funcionamento eficiente e sustentável. Para que tal aconteça, a escolha e o reconhecimento das potencialidades do local devem ser tidas em conta na implantação. Aspetos como o tipo de solo, a precipitação disponível da bacia hidrográfica/área de drenagem e suas características são fundamentais para obter máxima rentabilidade do projeto.

Além disso, em consenso com os requisitos, leis e normas, o engenheiro planifica e dimensiona as estruturas e instalações necessárias ao SAAP identificando situações criticas que poderão ocorrer, melhorando, assim, o seu funcionamento de forma sustentável.

Este deve, também, procurar identificar problemas, solucioná-los e/ou encaminhá-los aos especialistas e órgãos de pesquisa da área, conhecer as normas e regulamentos do uso do ambiente que tenham relações com o desenvolvimento de um SAAP.

2.7. Qualidade da água pluvial

A qualidade da água pluvial vai depender, essencialmente, de fatores como a localização geográfica, a presença de vegetação, as condições meteorológicas do local (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos), a estação do ano e os materiais dos equipamentos de captação e de armazenamento. Essa qualidade, pode, ainda, variar de acordo com o local onde é feita a coleta (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Variação da qualidade da água pluvial devido à área de coleta (Group Raindrops, 1995)

Grau de purificação	Área de coleta de chuva	Observações
A	Telhados (lugares não ocupados por pessoas ou animais).	Se a água for purificada pode ser consumida.
B	Telhados (lugares frequentados por animais e pessoas).	Usos não potáveis
C	Terraços e terrenos impermeabilizados, áreas de estacionamento	Mesmo para os usos não potáveis, necessita tratamento
D	Estradas	Mesmo para os usos não potáveis, necessita tratamento

Da Tabela 2.3 sobressai a importância dos telhados como área privilegiada na captação da água pluvial, por ser a zona menos contaminada de uma habitação. De forma a reduzir uma contaminação é recomendável, ainda, que a água de lavagem dos telhados (ou seja, a primeira água pluvial) seja eliminada (Dacach, 1979), num processo designado por "*first-flush*".

A qualidade da água pluvial, segundo (Tomaz, 2003), pode ser analisada em quatro fases: a que antecede o momento em que atinge a superfície de recolha; a que decorre durante a sua escorrência pela superfície de recolha; a relativa ao seu acolhimento no reservatório; e a referente à sua utilização.

Durante o percurso até atingir a superfície de recolha a água pluvial pode sofrer alterações na sua composição devido à absorção de gases da atmosfera (como dióxido de enxofre [SO2] e óxidos de nitrogénio [NOx]), resultantes da poluição atmosférica.

Depois de atingir e escoar por essa superfície a água pluvial pode sofrer, ainda, a contaminação por matéria orgânica, sólidos e microrganismos, afetando a sua qualidade. Habitualmente, a concentração dos contaminantes na água escoada pelo telhado vai diminuindo ao longo do período de precipitação. Por outro lado, a sua exposição ao vento poderá, ainda, aumentar a deposição de partículas (Sousa et al., 2006).

Dentro do reservatório, a maior preocupação com a qualidade da água é relativa aos sólidos e microrganismos que porventura tenham sido transportados com a água pluvial, podendo formar-se uma pequena camada de lama no fundo do reservatório.

2.7.1. Tratamento

O fim da utilização da água é o que vai determinar o nível do seu tratamento, sendo certo que quanto mais nobre o uso a dar à mesma, maior será o nível desse tratamento.

Group Raindrops (1995) distinguiu o uso da água pluvial nas regiões não industrializadas em quatro grupos, preconizando os tratamentos a serem aplicados (Tabela 2.4).

Tabela 2.4- Diferentes qualidades de água para diferentes aplicações (adaptado de Group Raindrops, 1995)

Uso requerido pela água:	Tratamento necessário:
Irrigação de jardins	Nenhum tratamento
Prevenção de incêndio Condicionamento de ar	Cuidados para manter o equipamento de estocagem e distribuição em condições de uso
Fontes e lagoas, descargas de autoclismos, lavagem de roupas e lavagem de carros.	Tratamento rigoroso, devido ao possível contato do corpo humano com a água.
Piscina/banho, consumo humano e no preparo de alimentos.	Desinfeção, para a água ser consumida direta ou indiretamente.

2.7.2. Recomendações

Os métodos para preservar ou melhorar a qualidade da água pluvial num SAAP incluem o projeto adequado, a sua correta operação e manutenção e o seu tratamento. O projeto deve prever:

- Uma área de recolha limpa e impermeável de materiais não tóxicos, devendo, ainda, haver o cuidado de evitar proximidade de árvores sobre aquela;
- Tubagens de saída de água dos reservatórios salvaguardando uma distância mínima de 5 cm acima do fundo destes, para evitar os detritos que se possam acumular;
- O fundo do reservatório deve contemplar uma inclinação em direção a uma depressão e local de acesso que permita a sua inspeção, manutenção e limpeza;
- As entradas de água devem estar dotadas de um sistema de filtragem para impedir a entrada de corpos estranhos no reservatório. Este último deve ser coberto e totalmente protegido da luz para prevenir o crescimento de algas;
- Um sistema de filtragem e/ou dispositivo de "primeira lavagem", com o objetivo de eliminar detritos e folhas, antes do armazenamento da água.

A especificação técnica ETA 0701 consigna cuidados a ter no controlo e uso da água pluvial, tais como:

- Controlo da qualidade da água no reservatório com uma periodicidade máxima de 6 meses.
- Efetuar correções de pH da água sempre que esta seja superior a 8,5 ou inferior a 6,5.
- Efetuar tratamentos suplementares (como, por exemplo, floculação, desinfeção, etc.) sempre que a área de superfície de recolha se localize em zonas mais poluídas.
- Todo o tratamento ou desinfeção da água pluvial deve ser concretizado a jusante do sistema de bombagem, ou seja, antes da entrada da água pluvial na rede não potável.
- A utilização da água pluvial na rega e lavagem não implica qualquer tratamento complementar desde que observadas as prescrições técnicas de instalação respetivas. Enquanto a utilização de água pluvial sem tratamento em descargas de sanitários, apenas deve ser admitida quando a água respeite, no mínimo, as normas de qualidade de águas balneares, nos termos da legislação nacional e das Diretivas europeias aplicáveis (DL n.º 236/98, de 1/8, que transpõe a Diretiva n.º 76/160/CEE, do Conselho, de 8/12), sob pena

de ter que se efetuar uma desinfeção da água por ultravioletas, cloro ou outro processo adequado.

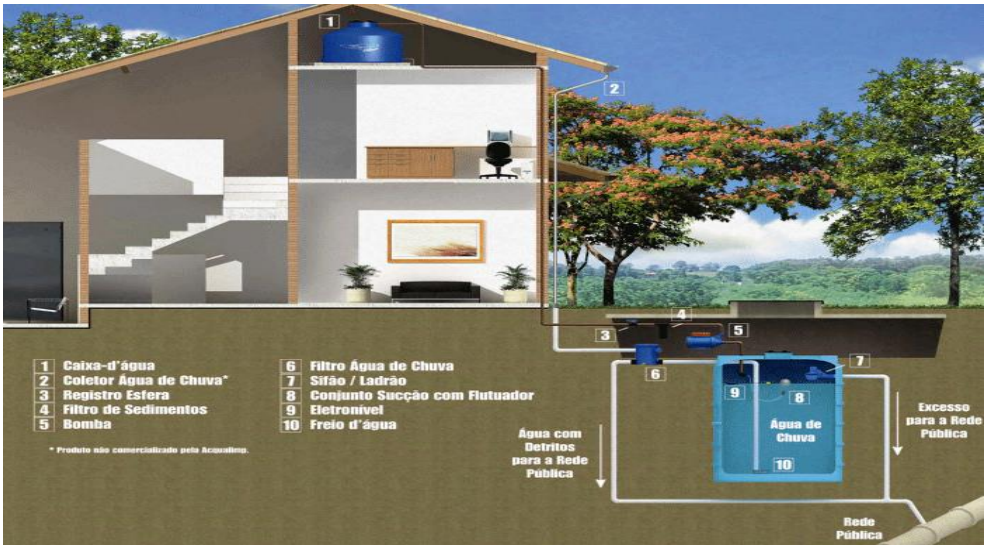
2.8. Constituição de SAAP

2.8.1. Descrição geral

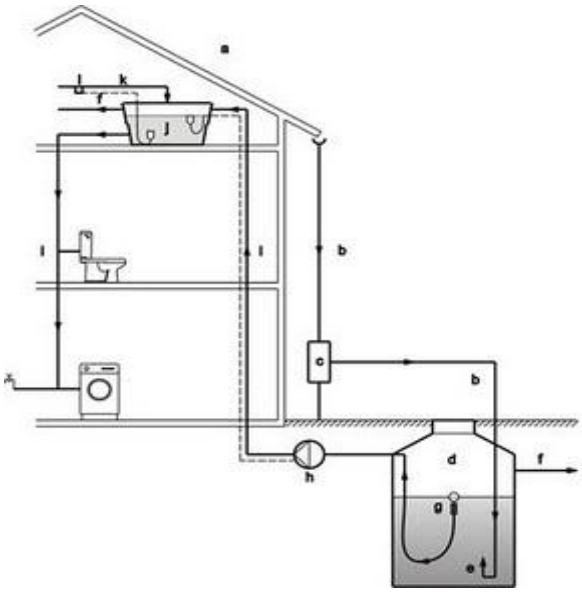
Os SAAP são constituídos por componentes básicos (Santos, 2011; Magalhães, 2013):

- Superfície de Captação/Recolha: compreende a área de receção da chuva (normalmente telhado da habitação);
- Sistema de Transporte: integra todos os componentes que direcionam a água captada para o tanque (algerozes ou caleiras e os tubos de queda);
- Dispositivos de Filtragem: desempenham a função de remoção de detritos e poeiras da água captada antes de chegar ao tanque (dispositivo first-flush e os dispositivos de filtração);
- Dispositivos de Armazenamento: os reservatórios de armazenamento;
- Tratamento: cujo objetivo é a remoção de sólidos para usos não potáveis e essencial para sistemas potáveis;
- Rede de Distribuição: reporta-se ao sistema de transporte da água pluvial para o seu uso final (por bombagem ou gravidade).

Na Figura 2.6 apresenta-se um esquema típico onde se identificam os principais componentes de um SAAP.



(a)



(b)

Figura 2.6 – (a) Esquema base de um SAAP. Disponível em http://www.cidadessustentaveis.org.br/boas-praticas/sistema-de-aproveitamento-de-agua-de-chuva-em-florianopolis-reduz-o-consumo-e-ajuda-da (consultado em Janeiro 2014). (b) Isometria do esquema base de um SAAP. Disponível em http://www. http://modaetica.com.br/com-que-roupa-lavada-e-passada-eu-vou/ (consultado em Dezembro 2014).

Os equipamentos que constituem os SAAP podem ser projetados, desenvolvidos e montados de raiz paralelamente à construção do edifício, ou serem instalados em habitações ou edifícios já construídos, havendo diversas soluções técnicas para a sua instalação.

2.8.2. Sistema de recolha/captação

Os telhados e terraços são as superfícies preferenciais para a recolha da água pluvial nos edifícios, dadas as suas características impermeáveis e menor contaminabilidade. A qualidade da água recolhida em tais superfícies dependerá da qualidade dos materiais usados na sua construção.

Ao longo do processo de captação é habitual ocorrer algumas perdas resultantes da ação da evaporação, arrastamento pelo vento e fugas no percurso, motivo pelo qual se torna necessário introduzir o conceito de coeficiente de escoamento. Este coeficiente será fornecido em função do tipo de superfície de recolha e representará o quociente entre o volume total de escoamento

superficial e o volume total precipitado num determinado período de tempo (Tabela 2.5). É recomendável selecionar revestimentos com um coeficiente de escoamento mais elevado em detrimento dos que absorvem mais água, com o propósito de reduzir as perdas.

Tabela 2.5 - Valores dos coeficientes de escoamento (ANQIP - ETA 0701, 2009)

Tipo de cobertura	Coeficiente de escoamento
Coberturas impermeáveis (telha, cimento, asfalto, etc.)	0,80
Coberturas planas com gravilha	0,60
Coberturas verdes extensivas (pouco porosas)	0,50
Coberturas verdes intensivas (muito porosas)	0,30

A área de recolha de água de um edifício é dada, normalmente, pela área de implantação deste.

2.8.3. Sistema de transporte

Uma vez recolhida a água é direcionada para o reservatório através dos componentes de condução: caleiras e tubos de queda (constituídos em PVC, alumínio ou aço galvanizado), sendo que deverão estar dotados de mecanismos de filtragem grosseiros para impedir a passagem de detritos de maiores dimensões. As caleiras, por exemplo, poderão ser dotadas de malhas de plástico ou de metal em toda a sua extensão (Figura 2.7). No que se reporta as partículas menores, elas serão retidas posteriormente pelos dispositivos de filtragem do sistema.

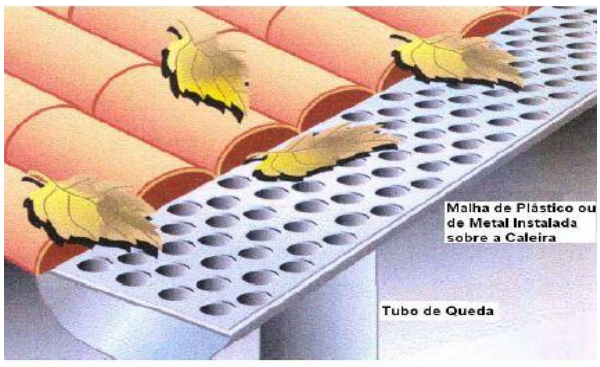


Figura 2.7 – Representação da malha de plástico ou metal para proteção. Disponível em Bertolo (2006) / (consultado em Janeiro 2014)

Na composição de todos os elementos do sistema deve evitar-se a utilização de chumbo ou outras substâncias que possam contaminar a água a armazenar.

2.8.4. Sistema de filtragem/dispositivo *first-flush*

A colocação/instalação de componentes de filtragem (dispositivo *first-flush* e dispositivos de filtração) tem como objetivo reter a deposição de poeiras, folhas e outros detritos, dessa forma evitando a contaminação da água.

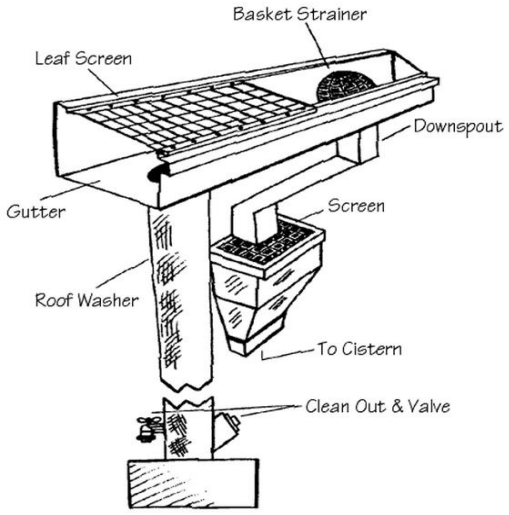
O conceito de *first-flush* foi introduzido pela primeira vez aquando da elaboração da especificação técnica ETA 0701 pela ANQIP. Na verdade, um dos primeiros cuidados a ter no aproveitamento da água da pluvial para consumo humano será, necessariamente, a lavagem prévia da superfície de recolha e a eliminação da primeira chuvada (TWDB, 1997).

Com a acumulação da precipitação a qualidade da água do telhado irá melhorar, sendo que a instalação de um dispositivo automático para o desvio do escoamento inicial terá um efeito decisivo nessa melhoria. O volume a desviar pode variar entre 0,5 e 8,5 mm de chuva, conforme as condições existentes.

A instalação de dispositivos *first-flush* é essencial para se obter uma melhor qualidade da água, sendo que existem vários tipos desses dispositivos. Como exemplo, pode-se referir um dispositivo utilizado no Texas (EUA) de grande simplicidade (Figura 2.8), traduzido numa conduta vertical instalada no extremo montante da caleira, antes do tubo de queda, onde existe, no fundo, uma válvula e um orifício de limpeza. Uma vez este tubo cheio, a água pluvial transita para o tubo de queda e é encaminhada para o reservatório de armazenamento (TWDB, 1997).

O dispositivo de filtragem encontra-se colocado imediatamente antes do reservatório de armazenamento. A seleção dos filtros deve ser criteriosa. O filtro de cartucho mais comum em SAAP é um filtro de sedimentos que remove partículas com dimensões iguais ou superiores a 5 μm. É aconselhável a limpeza e manutenção regular de todos os dispositivos de filtragem, evitando uma possível contaminação da água e a redução do seu caudal.

Com a filtragem obtém-se a remoção da maior quantidade possível de detritos (pequenas dimensões), dessa forma evitando a criação de condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos e de algas na fase de armazenamento da água.



Legenda: Basket Strainer – Boia; Leaf Screen - Filtro de folhas; Gutter – Caleira; Downspout – Orifício da Caleira; Screen – Filtro; Roof Washer – Dispositivo de 1ºdescarga; To Cistern – Tubo de queda para o reservatório; Clean Out & Valve – Orifício para limpeza com válvula.

Figura 2.8 – Esquema do dispositivo de rejeição de água do telhado. Disponível em http://www.raincentre.in/ (consultado em Janeiro 2014)

2.8.5. Sistema de armazenamento

O armazenamento é realizado num reservatório que é o componente mais importante e dispendioso de um SAAP. Ele constitui um fator importante de otimização da água disponível quando comparado com as necessidades de abastecimento através da regularização dos seus volumes.

O tamanho do reservatório de armazenamento depende de vários fatores, nomeadamente, do regime de precipitação local, dos usos, da área da superfície de recolha/captação, das preferências pessoais e do orçamento disponível (TWDB, 2005).

2.8.5.1 Tipos de reservatórios

Existem duas categorias de tanques de armazenamento: os tanques superficiais e os tanques enterrados ou semi-enterrados. Na Tabela 2.6 são apresentadas as vantagens e desvantagens da utilização dos dois tipos no aproveitamento de água pluvial.

Tabela 2.6 - Vantagens e desvantagens dos tipos de tanques (DTU, 2003; Oliveira,2008)

	Tanques superficiais	Tanques enterrados ou semi- enterrados
Vantagens	- Permite a deteção de fugas - A água pode ser retirada por ação da gravidade	- Água fresca - Sem contacto com a radiação e calor, a atividade bacteriana é praticamente nula - A terra à volta do tanque possibilita uma melhor sustentação.
Desvantagens	- Ocupação de área útil que poderia ser aproveitada para outros fins - Normalmente, mais caro - Dispostos a radiação solar e ar podendo levar ao aparecimento de bactérias, algas e insetos.	- Requer o uso de bombas para extrair a água - Difícil deteção de fugas - Maior probabilidade de contaminação da água do tanque devido a água proveniente do solo ou de inundações.

De forma a maximizar a sua eficiência, os reservatórios devem localizar-se, tão perto quanto possível, de ambos os pontos, o de fornecimento e o de consumo. Se se pretender a utilização da água pluvial por gravidade, os reservatórios deverão localizar-se no ponto com maior cota possível.

2.8.5.2 Características do reservatório

Em função das necessidades de limpeza e preocupação de evitar o desenvolvimento de bactérias, o reservatório deverá ser dotado de cantos arredondados e apresentar um sistema de *overflow*, descarga de fundo e filtro a montante. Impõe-se, ainda, a instalação de um dispositivo redutor de turbulência e da velocidade de entrada da água no reservatório, a ser colocado em local protegido da luz e do calor.

Nos reservatórios de maiores dimensões é recomendável a sua subdivisão em setores, comunicantes entre si mediante válvulas de seccionamento, para permitir o seu esvaziamento através de uma descarga de fundo gravítica ou de um sistema de bombagem. Para além disso, os reservatórios devem possuir, ainda, dispositivos de descarga para situações limite (reservatório cheio ou necessidade de limpeza), e permitir que a água retirada seja encaminhada para a rede de drenagem pluvial. Além disso, é importante que exista uma ligação à rede pública de abastecimento para permitir suprir as necessidades em caso de falta de água pluvial.

O material escolhido tem de ser durável, estanque em relação ao exterior (prevenir a evaporação, criação de mosquitos e entrada de insetos), liso no interior e selado com juntas de material não tóxico.

Atualmente, os reservatórios mais comuns utilizados em Portugal são construídos em PEAD ou em betão armado.

2.8.6. Sistema de tratamento

Nos SAAP existe, também, uma etapa de tratamento, a qual é realizada após a filtração, podendo ainda existir uma outra filtração (como carvão ativado), uma desinfeção ou um controlo do pH da água.

O nível de tratamento depende, obviamente e em grande medida, do uso final da água: tomar banho, descarga do autoclismo, lavar roupa e rega.

A desinfeção é essencial sempre que o destino final da água seja direcionado para a descarga de autoclismos e a lavagem de roupas (ou seja, para uso interior). O produto desinfetante habitualmente no reservatório é o cloro, em face da sua eficiência, solubilidade em água, disponibilidade e facilidade de aplicação. Todavia, a utilização excessiva deste tipo de desinfetante poderá ter repercussões negativas em alguns aparelhos (nomeadamente para a máquina de lavar a roupa). Daí que seja preferível recorrer a métodos alternativos de filtragem.

Para o caso dos sistemas não potáveis, o tratamento assentará numa filtragem simples (crivo de folhas nas caleiras e dispositivos de filtragem para partículas de menores dimensões).

O controlo de pH é outra forma de tratamento da água pluvial que chega ao reservatório. Efetivamente, este pode ser facilmente realizado mediante a adição de uma colher de sopa rasa de bicarbonato de sódio num reservatório de armazenamento por cada 450 L de água.

2.8.7. Sistema de distribuição

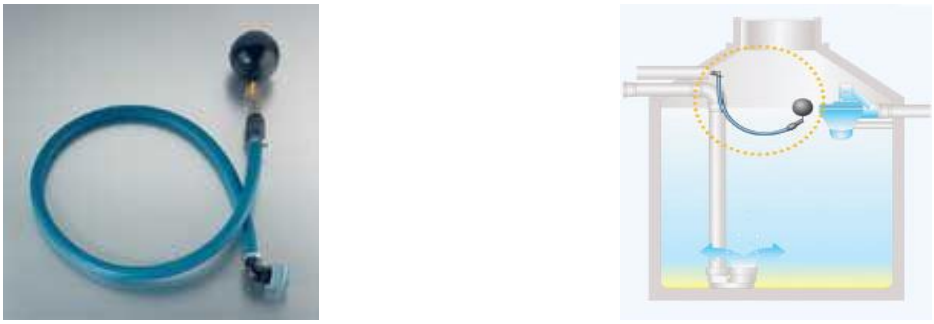
A distribuição da água pluvial pode ser feita por gravidade ou por bombagem. A primeira traduz-se no transporte da água pluvial até ao seu uso final por ação da gravidade. Por seu turno, a distribuição por bombagem consiste no transporte da água por meio de uma bomba, que deve ser convenientemente dimensionada para o seu efeito.

Com um quadro de gestão automática, mediante recebimento de informações sobre a precipitação e nível de água do reservatório, pode-se automatizar o funcionamento do SAAP. Com ela, é possível realizar o controlo da electroválvula que regula o *first-flush*, do grupo eletrobomba e da entrada da água potável no reservatório.

2.8.8. Acessórios

2.8.8.1 Conjunto de sucção flutuante

Uma vez que a água mais límpida surge imediatamente abaixo da superfície, deve aí proceder-se à sua recolha. Dessa forma se evita que as partículas suspensas entupam a bomba, ao mesmo tempo que se diminui o desgaste e o consumo de energia. O conjunto de sucção flutuante é formado por uma conexão para a bomba, uma mangueira flexível especial, uma válvula anti-retorno, um filtro de tela e uma boia, que mantém a entrada com o filtro sempre perto da superfície (Figura 2.9).



(a) (b)

Figura 2.9 – (a) Flutuante, (b) esquema de reservatório com flutuante. Disponível em http://construindosustentavel.blogspot.pt/2010/04/aproveitamento-de-agua-pluvial-das.html (consultado em Janeiro 2014)

2.8.8.2 Amortecedor

No sistema de armazenamento o amortecedor desempenha uma importante função. Na verdade, ele evita que a água vinda do filtro embata na superfície ou entre com muita pressão no reservatório. Aliás, este dispositivo é um requisito imposto pela norma técnica ETA0701.

2.8.8.3 Sifão

Para que o sifão desempenhe a sua função de limpar a camada superficial de água do reservatório, importa prever no projeto que esse mesmo reservatório fique pelo menos duas vezes por ano totalmente cheio.

2.9. Dimensionamento de SAAP

Geralmente, o reservatório de armazenamento é o componente mais caro do SAAP. Daí que o seu dimensionamento deve ser realizado com observação das maiores precauções. A sua capacidade de armazenamento vai-se repercutir, necessariamente, no seu custo e na própria eficiência do sistema de aproveitamento.

O dimensionamento do reservatório de água pluvial depende de vários fatores: a superfície de captação/recolha, o coeficiente de escoamento, a precipitação no local, e a previsão do consumo. Além disso, deverá pressupor, previamente, um estudo e análise do consumo de água numa residência/habitação.

2.9.1. Método de Rippl

O método de Rippl é um dos vários métodos de dimensionamento dos reservatórios de águas pluvial. Tem por base a determinação do volume em função da área de captação e da precipitação registada, levando-se em consideração que nem toda a água pluvial é armazenada, e correlacionando-se tal volume com o consumo mensal da edificação. Importante é, também, o período de recolha dos dados da pluviometria local para o seu dimensionamento que será mais eficiente quanto mais prolongado for período analisado.

O volume anual de água pluvial a aproveitar pode ser determinado pela expressão:

$$V_a = C \times P \times A \times \eta_f \quad (2.1)$$

Em que:

- Va Volume anual de água pluvial aproveitável (L);
- C Coeficiente de escoamento inicial da cobertura (Tabela 2.5);
- P Precipitação média acumulada anual do local (mm);
- A Área de captação (m^2);

ηf Valor de eficiência hidráulica

Para se obter uma boa eficiência dos equipamentos (filtros), instalados antes do reservatório, é necessário a adoção do valor de 0,9, o que significa que 10 % da água que entra no filtro vai ser diretamente escoada para a rede de drenagem juntamente com os detritos que não entram no reservatório.

No método de Rippl admite-se que o reservatório totalmente cheio vai satisfazer o consumo total, o que equivalerá dizer, que se existir um reservatório cheio de água no início, com a capacidade obtida no cálculo, seria satisfeito as necessidades de todo o consumo de água não potável.

A quantidade de água a desviar irá depender de critérios de tempo ou com base na área da superfície de recolha e numa altura de precipitação pré-estabelecida (0,5 a 8,5 mm, conforme as condições locais). Se não estiverem disponíveis dados ou estudos das condições locais, atender-se-á ao desvio de um volume correspondente a 2 mm de precipitação (ou inferior se se justificar) (ETA0701).

O volume a desviar será dado pela expressão:

$$V_d = P \times A \tag{2.2}$$

Onde:

Vd Volume a desviar do sistema (L);

P Altura de precipitação (mm) admitida para o *first-flush*;

A Área de captação (m^2).

Optando-se pelo critério de tempo, deve-se desviar um volume mínimo correspondente aos primeiros 10 minutos (min) de precipitação, podendo adotar-se um valor mais baixo (não inferior a 2 min) desde que o intervalo entre precipitações não seja superior a quatro dias (ETA0701).

2.9.2. Métodos Práticos

Os métodos práticos são métodos simples que permitem uma aproximação mais célere do valor final da capacidade do reservatório.

2.9.2.1 Método Alemão

Método empírico que parte do menor valor do volume do reservatório: 6 % do volume anual de consumo ou 6 % do volume anual de precipitação aproveitável.

$$V_{reservatório} = \text{Min}\,(V; C) \times 0{,}06 \tag{2.3}$$

Em que:

V Volume aproveitável anual de água pluvial anual (L);

C Consumo anual de água pluvial (L);

$V_{reservatório}$ Volume de água do reservatório (L).

Este tipo de método, segundo a especificação técnica ETA 0701, desenvolvida pela ANQIP, pode ser aplicado em moradias unifamiliares, localizadas em zonas com índices de pluviosidade mínima entre 500 e 800 mm.ano^{-1} e com consumos do tipo doméstico.

2.9.2.2 Método Inglês

Neste método o cálculo da capacidade do reservatório é efetuado segundo dados das áreas de captação e a precipitação média anual (Amorim, 2008). O volume do reservatório será:

$$V = 0{,}05 \times P \times A \tag{2.4}$$

Onde:

P Precipitação média anual (mm);

A Área de captação em projeção (m²);

V Volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório (L).

Assim, o tipo de consumo (máximo ou mínimo) não influência o cálculo do volume do reservatório. A precipitação média anual é obtida pela média da série total de precipitação.

2.9.2.3 Método Brasileiro

Este método conduz ao dobro do volume calculado pelo método Alemão, pelo que tem sido considerado como excessivo (Sacadura, 2011). Trata-se de método empírico que é calculado pela fórmula:

$$V = 0{,}042 \times P \times A \times T \tag{2.5}$$

Sendo:

- V Volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório (L);
- P Precipitação média anual (mm);
- A Área de coleta em projeção (m²);
- T Número de meses de pouca chuva ou seca.

Neste método o consumo não tem repercussões na capacidade do reservatório.

2.9.2.4 Método Australiano

O método Australiano é o mais prático, já que permite analisar uma maior base de dados e obter resultados e conclusões para diversos cenários, o que não sucede com os outros métodos. Este método permite determinar a eficiência do sistema mediante a análise de número de meses em que um reservatório consegue suprir o consumo consoante a precipitação local. A quantidade de chuva aproveitável é dada pela seguinte expressão:

$$Q = A \times C \times (P_{mm} - I) \tag{2.6}$$

Em que:

- C Coeficiente de escoamento superficial (Tabela 2.5);
- P_{mm} Precipitação média mensal (mm);
- I Intercetação da água que atinge a superfície e perda por evaporação, geralmente 2 mm;
- A Área de captação (m²);
- Q Volume produzido pela chuva (L).

O método de cálculo assenta em atribuir um volume para o reservatório, permitindo calcular o volume de água aproveitável pelo reservatório, dessa forma se constatando a eficiência do sistema. O cálculo do volume de água do reservatório no final de um determinado período será dado pela equação:

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - C_t \quad (2.7)$$

Onde:

- V_t Volume de água que está no tanque no fim do mês t (m^3);
- V_{t-1} Volume de água que está no tanque no início do mês t (m^3);
- Q_t Volume mensal produzido pela chuva no mês t (m^3);
- C_t Consumo diário/mensal (m^3).

Considerando que no primeiro mês o reservatório se apresenta vazio ($V_{t-1}=0$) e quando ($V_{t-1} + Q_t - C_t$) < 0, então o $V_t = 0$. Para o cálculo da eficiência utilizam-se as seguintes equações:

$$E = (1 - P_r) \quad (2.8)$$

Onde:

- E Eficiência;
- P_r Falha (Nr/N);
- Nr Número de dias/meses em que o reservatório não atendeu ao consumo, isto é, quando $V_t = 0$;
- N Número de dias/meses considerado, geralmente 12 meses.

A vantagem deste método é que permite a sua aplicação a dados diários. É aconselhável que os valores de eficiência estejam entre 90 % e 100 %.

O dimensionamento de um reservatório para aproveitamento das águas pluviais tem de, necessariamente, passar pela ponderação do binómio custo-benefício. Ou seja: um reservatório será quanto mais caro, quanto maior for a sua dimensão. Contudo, quanto maior for o reservatório, maior será o volume de água e menor serão os desperdícios.

2.10. Análise de estudos anteriores

No presente capítulo são apresentados alguns estudos relativos ao aproveitamento das águas pluviais.

2.10.1. Aplicação de SAAP a edifícios hospitalares

Magalhães (2013) desenvolveu um estudo sobre o dimensionamento de um SAAP no Hospital Pedro Hispano, localizado em Matosinhos.

De acordo com uma análise exaustiva aos diversos consumos do hospital, a autora chegou a conclusão que o uso final do aproveitamento da água seria nas torres de arrefecimento do *chiller* de absorção e na rega de jardins. Para além de ter realizado o dimensionamento do sistema, nomeadamente do volume de água a captar, volume do reservatório, tubagem, bombagem, etc., realizou uma estimativa orçamental e uma análise da viabilidade económico de todo o SAAP.

Do seu estudo concluiu que existem meses (os de menor precipitação – Verão) em que, mesmo para capacidades de reservatório bastante elevadas, não se consegue armazenar água pluvial e não é possível satisfazerem-se os consumos das torres de arrefecimento, afetando a eficácia do SAAP. Relativamente à análise de viabilidade económica (forma de aferir se a sua implementação seria ou não aconselhável), concluiu que a substituição da água potável por água pluvial arrasta consigo vantagens quer a nível económico quer a nível ambiental.

2.10.2. Análise de SAAP a edifícios de habitação

O principal objetivo do trabalho de Bertolo (2006) era clarificar os efeitos da instalação de SAAP em Portugal.

Para esse efeito, procurou analisar as diferentes alternativas de implementação de um SAAP, bem como os requisitos de tal sistema, numa perspetiva ambiental e também na ótica do utilizador, em termos de viabilidade económica e de aplicações possíveis para a água aproveitada.

Desenvolveu uma ferramenta de cálculo para o dimensionamento de reservatórios e inferir o funcionamento do SAAP em diferentes implementações.

O seu caso prático é numa moradia unifamiliar, no Porto, contemplando a instalação de um SAAP em diferentes cenários e avaliando as relações custo-benefício para o utilizador. Foram estudadas três hipóteses:

- Hipótese 0: sistema sem aproveitamento da água pluvial. A água da rede pública abastece todos os equipamentos. Este cenário servirá de base para se estimar o custo acrescido das soluções apresentadas nos outros dois cenários.
- Hipótese I: sistema com aproveitamento da água pluvial para consumo não potável excluindo banhos: a água pluvial abastece a rede de serviço, os autoclismos, a máquina de lavar roupa e o tanque de lavar roupa.
- Hipótese II: sistema com aproveitamento da água pluvial para consumo não potável incluindo banhos.

Em relação à análise económica, só se estudou para as Hipóteses I e II, para diferentes cenários: uma habitação unifamiliar, duas habitações unifamiliares geminadas e um conjunto de quatro habitações unifamiliares geminadas.

Deste estudo concluiu que a viabilidade económica do sistema depende essencialmente de três fatores: precipitação, superfície de recolha e lei de consumos. Quanto mais elevados estes fatores forem, menor é o prazo de recuperação do investimento.

2.10.3. Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental - Simulador para avaliação da viabilidade

O trabalho desenvolvido por Oliveira (2008) teve como objetivo principal a elaboração de um simulador, de fácil utilização, que pudesse ser usado para a análise da viabilidade em instalações domésticas ou coletivas, visando a sua aplicação em diferentes regiões de Portugal Continental.

O teste deste simulador foi efetuado para três casos de estudo:

- Habitação unifamiliar, na aldeia Toito, distrito Guarda;
- Edifício de escritórios e laboratórios, localizado no campus do LNEC, em Lisboa;

- Habitação unifamiliar, na povoação de Estômbar, distrito de Faro.

As curvas dos volumes diários dos três casos têm um comportamento semelhante. Como seria expectável, quanto maior for a capacidade do tanque, menor será o consumo de água potável. No entanto, há que adequar a gama de capacidades de tanque, quer à magnitude dos consumos, quer à área de captação. Isto pode ser conseguido fazendo a aplicação do simulador primeiro para uma gama mais alargada, dependendo do espaço disponível, e seguidamente aplicar para uma gama mais restrita, refinando os valores obtidos.

Na análise económica, constata-se que, em todos os casos de estudo, o custo de instalação do tanque e o custo total de água poupada aumentam com a capacidade de tanque. Quanto maior for a capacidade de tanque, maiores serão os custos associados à sua construção e instalação. Por exemplo: LNEC-Lisboa é o único em que o custo total de água poupada é sempre superior ao custo de instalação do tanque, portanto, em termos económicos, é o que apresenta uma situação mais favorável para a instalação de um SAAP.

Do ponto de vista económico, a instalação de um SAAP é particularmente favorável para instalações com elevados consumos e áreas de captação.

O simulador elaborado torna possível, mediante diferentes aplicações, avaliar o potencial local de aproveitamento segundo circunstâncias específicas. Tal facto ajuda a pessoa a escolher se, no seu caso concreto, é ou não favorável proceder à instalação de um SAAP e, em caso afirmativo, quais os benefícios para diferentes capacidades de armazenamento.

2.10.4. Outros projetos desenvolvidos em Portugal

2.10.4.1 Empreendimento cooperativo da Ponte da Pedra

O Empreendimento Cooperativo da "Ponte da Pedra", em Leça do Balio (Matosinhos), surgiu em 2003 e, numa primeira fase, era composta por 151 habitações. É um empreendimento de qualidade reconhecida pela União Europeia, resultante de uma candidatura ao "Prémio Europeu de Sustentabilidade da Qualidade Habitacional", que tem em linha de conta a qualidade construtiva aliada à economia de energia e consumo de água.

Em Janeiro de 2005 arrancou um novo empreendimento de 101 habitações, o primeiro empreendimento nacional de "habitação sustentável", também em Leça do Balio. Trata-se de um projeto-piloto resultante de uma candidatura ao programa europeu "Habitação Sustentável na Europa", que envolve também a Dinamarca, a Itália e a França e estabelece uma série de regras ao nível da poupança de energia e recurso a fontes alternativas e de gestão ambiental.

O empreendimento de Leça do Balio terá, entre outras inovações, um reservatório enterrado para o armazenamento das águas pluviais e posterior encaminhamento para o sistema de rega de jardins e autoclismos das habitações e um sistema para o aproveitamento da energia solar. Este é um exemplo típico de sustentabilidade coletiva.

No dia 8 de Abril de 2006 foi apresentado o andar modelo relativo a este projeto inédito de habitação sustentável em Portugal.

2.10.4.2 Estádio AXA, Braga

O Estádio Axa, em Braga, construído pelo arquiteto Eduardo Souto Moura, tem como principal particularidade um SAAP. Este é vantajoso na medida que Braga é uma das cidades europeias que apresenta maiores índices de pluviosidade.

A cobertura foi executada com elementos pré-fabricados, que foram colocados na respetiva posição por deslize de cada um deles ao longo dos cabos. Para drenar as enormes superfícies da cobertura foi definido que os traçados dos cabos apresentariam uma variação da flecha central apenas para um dos lados, garantindo-se deste modo uma pendente constante do bordo inferior das duas lajes da cobertura. Isto permite que a água pluvial seja drenada na extremidade de cada cobertura, caindo em cascata para duas bacias de recolha de águas separadas.

Este é um dos estádios mais ecológicos do mundo, não só pelo aproveitamento das águas pluviais para a rega e lavagem das bancadas como pelo facto de ser um exemplo sustentável de recuperação duma pedreira, minimizando o impacte nos ecossistemas.

3. SISTEMA SIFÓNICO OU SOB PRESSÃO

Este capítulo aborda o conceito, a constituição e o funcionamento do sistema sifónico ou sob pressão, bem como os respetivos campos de aplicação.

3.1. Introdução

Conceitualmente um sistema sifónico é um sistema que permitir a escorrência de um liquido a partir de um nível superior e impedir que esse mesmo liquido faça o percurso inverso (Jay R. Smith, 2008).

O aparecimento dos primeiros sistemas sifónicos foi na década de 1960, na Escandinávia, sendo que tal se ficou a dever ao Engenheiro Olavi Ebeling. Daí, expandiu-se, na década de 1980, para os demais continentes (Europa, Ásia, África, América), mediante o contributo da empresa Geberit (Siphonic Roof drainage Association, 2011).

Em Portugal, as primeiras notícias relativas à utilização de um sistema sifónico datam 1996 (Pereira, 2012).

Atualmente as normas em vigor são a European Standard EN 1253 (EN 1253) e a American Standard ASME A112.6.9 (ASME A112.6.9), que permitem a avaliação do desempenho de um sistema sifónico e definem os métodos de medição dos caudais de drenagem em função da altura de água na cobertura, dessa forma contribuindo para a análise dos vários regimes de escoamento (Jay R. Smith, 2008).

O sistema sob pressão (ou "sistema pluvia" como é referenciado pela empresa Geberit) é caracterizado por dois aspetos essenciais (Pereira, 2012):
- a inclusão de ralos anti-vortex (impedem a formação de vórtices, permitindo o aparecimento do escoamento em pressão);
- o recurso de materiais e acessórios adequados às necessidades do funcionamento sob pressão.

3.2. Composição dos sistemas sifónicos

Em Portugal é possível deparar com diversos fabricantes e comercializadores deste tipo de sistemas, de entre os quais se destaca o "Pluvia" da Geberit (Pereira, 2012). Porém, não são visíveis grandes diferenças na composição, funcionamento e aplicabilidade desses sistemas.

Os sistemas sifónicos são dispositivos simples e que integram na sua composição os componentes de um sistema tradicional. Da sua composição importa destacar alguns dos seus componentes (Figura 3.1).



Legenda: Leaf Guard – grelha (filtro de detritus); Outlet – Ramal de descarga; Baffle – defletor de ar ; Flashing Ring – Placa de montagem; Body – Corpo.

Figura 3.1 – Composição de um sistema sifónico. Retirado de Jay R. Smith Manufacturing Company

Em geral, um sistema sifónico subdivide-se em três componentes determinantes: ralos, tubagens e sistemas de fixação. Esses componentes realçam as diferenças dos dois tipos de sistemas (sifónico e tradicional) (Pereira 2012).

3.2.1. Ralos

O ralo sifónico, cujas características têm de respeitar as normas internacionais EN 1253 e ASME A112.6.9, constitui um dos elementos chave do sistema sifónico e pode apresentar-se sob diversos tipos.

O tipo de ralo sifónico a aplicar em determinado local está dependente e relacionado com o índice de pluviosidade desse mesmo local, já que ele terá de ser adaptado em função dos diversos caudais previstos (que podem ir até, por exemplo, até 100 Ls^{-1}). Em Portugal, os ralos comercializados estão previstos para operar com caudais de 1 a 12 Ls^{-1}.

Este tipo de ralos é composto por três sectores (Figura 3.2) (Geberit, 2011):

- a parte superior reporta-se à área de entrada de caudal, que contém uma grelha lateral que contorna todo o perímetro do ralo (cuja função é, precisamente, obstar à entrada de detritos nocivos ao sistema). Nesta secção é onde se faz a admissão de água;
- a parte intermédia é constituída pela placa de montagem, que faz a ligação entre o ralo e a tubagem, e no qual está presente uma tela impermeabilizante que visa impedir infiltrações para o interior da laje;
- a parte inferior é a que faz a ligação do ralo ao ramal de descarga.



Figura 3.2 – Ralo sifónico e sua constituição. Retirado de catálogo da empresa Geberit

3.2.2. Tubagens

Os ralos sifónicos estão ligados a uma rede de tubos e acessórios.

Uma vez que o sistema sifónico funciona em pressão, a qualidade e natureza dos materiais a utilizar, tem de ser mais exigente. O recurso a PVC e ao tipo de ligações e juntas que ocorre nos sistemas tradicionais não é viável. Daí a necessidade de se recorrer a materiais mais robustos e duradouros, nomeadamente o Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e o ferro fundido (FF). Por exemplo, a empresa Geberit possui uma linha de PEAD.

Na Tabela 3.1 sintetizam-se valores médios de alguns parâmetros comparativos entre estes materiais e o PVC.

Tabela 3.1 – Valores médios de alguns parâmetros de três tipos de materiais (Pereira, 2008)

	Material		
Índice	PEAD	PVC	FF
Módulo de Young (MPa)	1000	3275	155000
Tensão de rotura (MPa)	26	48,30	522,5
Força de impacto (J/cm)	5,59	0,61	>10
Índice de desgaste volumétrico (20)	86	140	
Coeficiente de dilatação térmica (E^{-6}/ºC)	120	65	12
Calor específico (J/Kg.ºC)	2250	1005	500
Temperatura de fusão (ºC)	121	180	1200
Densidade (kg/m^3)	953	1450	7250

O módulo de elasticidade (módulo de Young) do PEAD apresenta-se com menor valor, logo é o mais deformável. Daí que seja menos expectável o surgimento de deformações neste material. Acresce que, como os sistemas de drenagem devem estar preparados para absorver deformações da estrutura (atravessando mesmo, por vezes, as juntas de dilatação), o menor módulo de flexibilidade revela-se o mais atrativo. Efetivamente, quanto menor for o valor de tensão de rotura maior terá que ser a espessura das paredes da tubagem para uma mesma solicitação.

Por outro lado, o PEAD e o FF são materiais praticamente inquebráveis a temperaturas correntes, ao contrário do que sucede com o PVC que apresenta um valor relativamente baixo de resistência ao impacto.

Importa, ainda, considerar os efeitos da dilatação térmica. Na verdade, é frequente assistir-se à colocação das tubagens no exterior dos edifícios, desse modo as sujeitando a amplitudes térmicas significativas, na medida em que as temperaturas superficiais máximas e mínimas aos quais estes elementos estão sujeitos ao longo de um ano podem facilmente atingir os 40ºC. Assim, e calculando-se a sua variação dimensional de acordo com a fórmula:

$$\Delta L = \alpha \times L \times \Delta t \tag{3.1}$$

Em que:

ΔL Variação de comprimento em metros (m);

α Coeficiente de dilatação térmica;

L Comprimento da peça em estudo (m);

Δt Variação da temperatura (ºC).

Destas considerações resulta que o PEAD se revela como um material mais leve e funcional que os demais.

Acresce que, para além do efeito da pressão, o sistema sifónico proporciona maiores velocidades de água, o que se vai refletir no desgaste das tubagens. Daí que a utilização de PEAD e do FF apresentem maior resistência à abrasão.

3.2.3. Sistemas de fixação

Estes sistemas funcionam sob pressão e com velocidades elevadas, logo as forças exercidas ao longo da tubagem, nomeadamente nas variações de inclinação/direção, "Ts" ou alteração de diâmetro, são agravadas. Daí surgir a necessidade dos sistemas de fixação (Figura 3.3) para responderem a essas exigências (Geberit, 2011).

As forças exercidas em qualquer um desses pontos podem ser calculadas com recurso ao teorema de Euler ou teorema da quantidade de movimento. Segundo o "Teorema de Euler": "Para um volume determinado no interior de um fluido, é nulo em cada instante o sistema das seguintes forças: peso, resultante das forças de contacto que o meio exterior exerce sobre o fluido contido no volume, através da superfície de fronteira, resultante das forças de inércia e resultante das quantidades de movimento entradas para o volume considerado e dele saídas na unidade de tempo." (Ruas et al., 2005)

As tubagens (horizontais e verticais) devem ser fixadas ao teto e paredes (exceto claro, se estiverem enterradas). Nos sistemas sifónicos em FF e nos sistemas tradicionais, as ligações são feitas por abraçadeiras pregadas ao teto ou à parede, dessa forma apoiando duplamente as tubagens. Já nos sistemas sifónicos em PEAD essas ligações são efetuadas através de uma estrutura metálica secundária (que vai funcionar como calha) ligada, também, às paredes e aos tetos. Na calha são fixadas braçadeiras de forma a que os tubos ali fiquem apoiados e possam deslizar ao longo das mesmas, proporcionando-lhes maior capacidade para absorver as dilatações e contrações da tubagem de PEAD.

No sistema sifónico, a tubagem funciona como se fosse um sistema isostático, já que, em face da sua mobilidade, o sistema vai adaptar-se ao estado de deformação sem transmitir tensões para a estrutura de suporte. Por outro lado, a circunstância da tubagem não estar diretamente ligada à parede permite, ainda, a absorção das vibrações decorrentes da drenagem pluvial, evitando, assim, que estas se transfiram para a estrutura.

Ao invés do que sucede com o PEAD, o FF, tendo menor flexibilidade e maior densidade, exige estruturas de suporte mais resistentes.

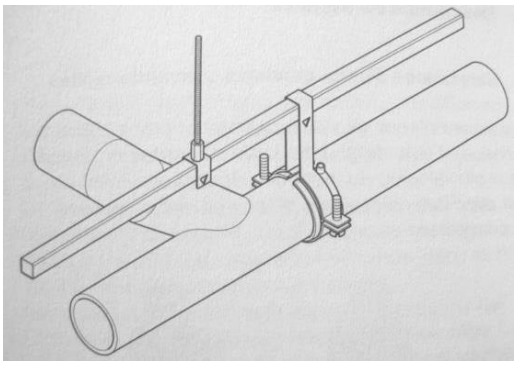


Figura 3.3 – Sistema de fixação. Retirado do manual da empresa Geberit

O controlo das dilatações depende, obviamente, do material utilizado:

- no FF as dilatações são controladas vertical e horizontalmente através das próprias juntas elásticas entre tubos.
- em PEAD (por se encontrarem alojadas numa estrutura secundária) as deformações horizontais são permitidas mediante a utilização de um braço de deflexão.

3.3. Funcionamento dos sistemas sifónicos

3.3.1. Princípio de funcionamento

O sistema sifónico assenta em princípios hidráulicos diferentes dos convencionais, sendo maior a exigência ao nível técnico e da preparação, dimensionamento e instalação, já que o cometimento de erros repercutir-se-á no desempenho de todo o sistema (Geberit, 2011).

Todo o desempenho do sistema assenta no "Princípio de Bernoulli" (equação que reflete o balanço de energia entre dois pontos de um escoamento) aplicado ao escoamento de fluidos com viscosidade e atrito (Figura 3.4 e equação 3.2).

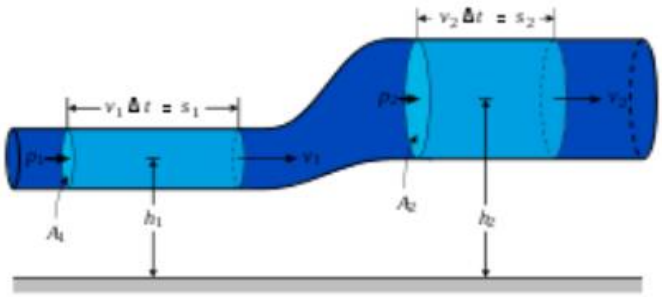


Figura 3.4 – Principio de Bernoulli aplicado a escoamento de fluidos com viscosidade e atrito. Disponível em http://hidrokinesiauv.blogspot.pt/2011/10/principios-hidraulicos-3-principio-de.html (consultado em Maio 2014)

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{{v_1}^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{{v_2}^2}{2g} + \text{Perdas de carga} \qquad (3.2)$$

Sendo:

- Zi Cota do ponto i (m);
- P_i Pressão relativa do ponto i (Pa);
- γ Peso volúmico do fluido em N/m^3 ($\gamma_{água}$= 9810 N/m^3);
- v_i Velocidade na seção i (ms^{-1});
- g Aceleração da gravidade ($m.(s^2)^{-1}$);

Em que o significado físico das parcelas por unidade de peso é:

- Z – cota topográfica. Representa a energia potencial devido à altura e tende a ser o parâmetro mais importante na drenagem sifónica;
- P/γ – altura piezométrica. Representa a energia de pressão, que é a energia necessária para comprimir o fluido contra as paredes do tubo;
- $v^2/(2g)$ – altura cinética. Representa a energia cinética, que é a energia adquirida por aceleração de uma certa velocidade.

A perda de carga (equação 3.3) decompõe-se em duas componentes: a perda de carga contínua (devidas ao atrito entre o fluido e as paredes da tubagem - ΔH_c) e o somatório das

perdas de carga localizadas (perdas de energia associadas a mudanças de diâmetro na tubagem, direção ou singularidades como válvulas e juntas - ΔH_l).

$$\Delta H = \Delta H_c + \sum \Delta H_l \tag{3.3}$$

Atendendo à circunstância do escoamento gravítico ocorrer de forma anelar (ao nível dos tubos de queda), a água, ao aderir às bordas do tubo, vai acelerar até uma velocidade terminal em função da rugosidade da conduta e da viscosidade do fluido. Ora, no sistema sifónico esta velocidade terminal não existe na medida em que para além da ação da gravidade temos que levar em consideração o efeito das variações de pressões que é a verdadeira ação motriz e base do seu funcionamento.

Para além da diferença de cotas entre os pontos iniciais e finais do escoamento, existe um outro elemento que potencia a alteração do diferencial de pressões e que é explicado pelo efeito de Venturi (Figura 3.5).

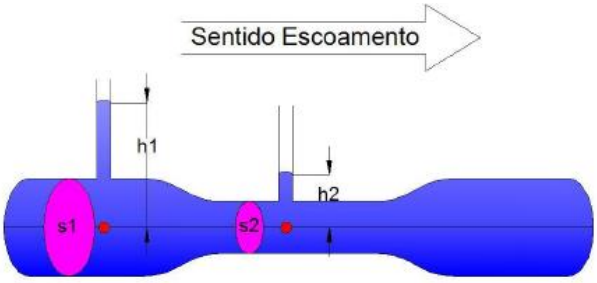


Figura 3.5 – Efeito de Venturi (Pereira, 2012)

Quando se está perante um tubo no qual há um escoamento em pressão e ao longo do qual existe uma redução no diâmetro, é obrigatório haver continuidade de escoamento. Assim, o caudal a atravessar a seção 1 será o mesmo que atravessa a seção 2. Considerando que o caudal é definido pelo volume que atravessa uma determinada secção num dado espaço de tempo, temos:

$$Q = U \times S \tag{3.4}$$

Em que:

Q Caudal ($m^3.s^{-1}$);

U Velocidade de escoamento (ms^{-1});

S Área da secção transversal (m^2).

Ou seja, para as duas secções:

$$Q_1 = Q_2 \leftrightarrow U_1 \times S_1 = U_2 \times S_2 \tag{3.5}$$

Em síntese: para um mesmo caudal, a velocidade aumenta quando a área da secção transversal diminui e vice-versa.

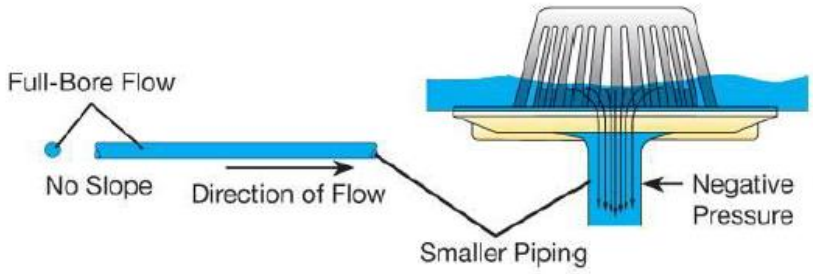
Nesta conformidade, e mediante a aplicação do "teorema de Bernoulli", desprezando as perdas de carga entre os dois pontos ilustrados e tendo ainda em conta que as cotas dos dois pontos são iguais e que a pressão nestes pontos é dada pela altura da lâmina líquida acima destes, temos que:

$$h_l + \frac{{v_1}^2}{2g} = h_2 + \frac{{v_2}^2}{2g} \leftrightarrow h_l - h_2 = \frac{{v_2}^2 - {v_1}^2}{2g} \tag{3.6}$$

Donde se retira a seguinte conclusão: quando se altera a velocidade do escoamento cria-se um diferencial de pressões. Este diferencial será negativo (efeito de pressão) se a velocidade a jusante for inferior à velocidade de montante e será positivo (efeito de sucção) se a velocidade de jusante for superior à velocidade de montante.

3.3.2. Modo de funcionamento

No sistema sifónico o ralo impede, para o caudal de projeto, a entrada de ar e a formação do vórtice assegurando portanto a ocupação total da secção do tubo, trabalhando assim o sistema a 100 %. Nessas condições o dimensionamento do sistema pode basear-se em modelos matemáticos de escoamento completamente desenvolvidos trabalhando em pressão/depressão (princípio da conservação da energia de Bernoulli) (Pereira, 2012).



Legenda: Full-Bore Flow – escoamento cheio; No slope – sem inclinação; Direction of Flow – direcção do escoamento; Smaller Piping – menor diâmetro de tubagem; Negative Pressure – pressão negative.

Figura 3.6 – Escoamento num ralo sifónico. Retirado de Jay R. Smith, 2008

Ou seja, a grande particularidade do sistema sifónico assenta no facto de permitir que o escoamento de águas pluviais se dê num regime de escoamento em pressão (Figura 3.6). Podemos, todavia, em termos da sua operacionalidade, considerar quatro tipos de regimes em função da pluviosidade (Pereira, 2012):

- Para uma pluviosidade que provoque caudais entre os 10 e 15 % do caudal de projeto, o sistema sifónico funciona como um sistema tradicional de escoamento pluvial por ação da gravidade. Aqui, o escoamento é definido como "gravity flow", e é elevada a quantidade de ar no interior da tubagem (Figura 3.7).

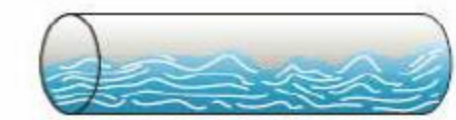


Figura 3.7 – Escoamento na tubagem com caudal entre 10 % e 15 % do caudal de projeto. Retirado de Jay R. Smith, 2008

- Para uma pluviosidade entre os 15 % e 60 % do caudal de projeto o sistema opera alternadamente entre o sistema gravítico e em pressão, como consequência da capacidade de vazão de cada um dos modos de escoamento, podendo ocorrer acumulação de água na cobertura devido à circunstância das limitações na capacidade de transporte do sistema tradicional. A partir do momento em que o prato anti-vortex é submerso, é impedida a entrada em pressão do sistema. Já quando a água acumulada na cobertura submerge o prato anti-vortex é eliminada a entrada de ar na tubagem e inicia-se o efeito sifónico. A partir desse momento o caudal drenado aumenta, dessa

forma se reduzindo a altura de água na cobertura. Então, o prato anti-vortex reemerge permitindo, novamente, a entrada de ar na tubagem e o funcionamento não-sifónico. Daí que este sistema seja conhecido por "plug flow" (Figura 3.8).



Figura 3.8 – Escoamento na tubagem com caudal entre 15 % e 60 % do caudal de projeto. Retirado de Jay R. Smith, 2008

- Para caudais entre os 60 e 95 % do caudal de projeto o escoamento dá-se no regime sob pressão (embora ainda possam aparecer algumas bolhas de ar no seu interior). Neste tipo de situações a tubagem está a trabalhar em secção cheia, apesar da presença de bolhas de ar, e a velocidade de escoamento atinge valores elevados graças ao efeito sifónico ("bubble flow") (Figura 3.9).



Figura 3.9 – Escoamento na tubagem com caudal entre 60 % e 95 % do caudal de projeto. Retirado de Jay R. Smith, 2008

- Nos caudais superiores a 95 % do caudal de projeto, atingem-se as capacidades máximas de vazão, assistindo-se a um escoamento silencioso (face à ausência de ar no interior das tubagens) e a grande velocidade. Nesta fase o efeito sifónico desenvolve-se na sua plenitude, sendo conhecida por "full flow" (Figura 3.10).



Figura 3.10 – Escoamento na tubagem com caudal superior a 95 % do caudal de projeto. Retirado de Jay R. Smith, 2008

Importa, ainda, não esquecer a necessidade de instalação de dispositivos que assegurem a descarga dos volumes excedentes, designadamente para prevenir a drenagem de coberturas no caso de chuvadas de caudais superiores aos de projeto. Para esse efeito, devem ser utilizados

descarregadores de superfície ou a utilização de um sistema de drenagem sifónico secundário com um tipo de ralo diferente (conhecido por "trop-plein" de segurança) que só entrará em funcionamento no caso do sistema principal não ter capacidade de vazão suficiente para o caudal existente.

Os "trop-plein" de segurança deverão ser implementados de forma a que o sistema de segurança garanta o escoamento de toda a cobertura, sendo que o seu modo de funcionamento é igual ao do sistema principal (Geberit, 2011).

3.4. Vantagens e desvantagens

Há diversas vantagens do sistema sifónico quando comparado ao sistema tradicional, nomeadamente (Geberit, 2011):

- redução do número e diâmetro dos tubos de queda;
- aumento de espaço interior com a possível colocação do tubo coletor de forma horizontal junto ao telhado ou da caleira;
- menor área de armazenamento, permitindo a redução de custos, e maior rapidez de execução.

O sistema sifónico apresenta, assim, diferenças significativas relativamente ao sistema tradicional (Pereira, 2012).

A flexibilidade do traçado e possibilidade de inclinações baixas/nulas revela-se como uma das diferenças deste sistema para com o tradicional. O escoamento ao dar-se em pressão vai facilitar a condução da água, permitindo que as tubagens sejam implantadas horizontalmente em nada o afetando. Apesar de não recomendável, o sistema sifónico permite o recurso a inclinações ascendentes, em terminados troços, sem prejudicar a sua eficiência, na medida em que o próprio sistema funciona inicialmente num regime gravítico. A circunstância das inclinações serem pouco acentuadas vai permitir reduzir os pontos de descarga, tubos de queda e número de ligações aos coletores prediais (bem como a respetiva extensão). Tudo isto se vai refletir num sistema mais adequado para as construções.

O sistema sifónico permite, por outro lado, a integração logística em obra. Ao reduzir-se o número de tubos de queda vai reduzir-se também o número de caixas de ligação a executar, levando a uma poupança dos custos e de tempo de obra, simplificando-a. O poder de pré-fabricação deste tipo de materiais facilita a receção e montagem em obra deste sistema, contribuindo para um maior controlo de qualidade na construção. Por outro lado, uma vez que a montagem do sistema não está dependente da execução de outras tarefas, a sua instalação/montagem poderá ser remetida para o final da obra, maximizando a eficiência e celeridade da obra.

Acresce que o sistema sifónico ao permitir tubagens com diâmetros mais reduzidos proporciona capacidades de vazão superiores.

Porém, o sistema sifónico apresenta, de igual modo, alguns aspetos negativos, desde logo o seu custo. Este sistema acarreta elevados custos na sua implantação face à existência das patentes registadas.

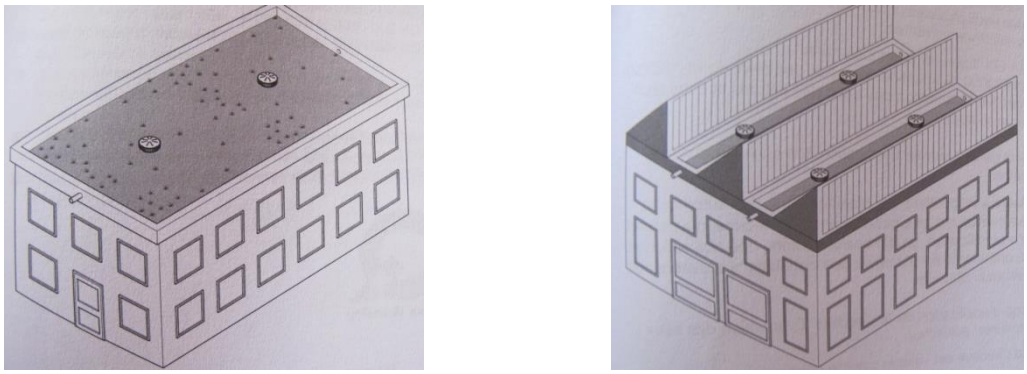
Poder-se-á dizer que o sistema sifónico se revela tanto mais vantajoso (ao nível económico) quanto maior for a área a drenar, devido à redução da quantidade de ralos e tubagens a utilizar, tornando-se por isso uma solução mais económica e eficiente.

O sistema pluvia da Geberit apresenta vantagens na parte respeitante a áreas e volumes disponíveis, bem como permite maior flexibilidade e liberdade na arquitetura. Este sistema, ao exigir tubos com diâmetros menores vai permitir maior velocidade de escoamento, garantindo a auto-limpeza. Por outro lado, também, exige menor quantidade de tubos enterrados e menor número de tubos de queda, logo menos quantidade de material. Perante estes fatores mencionados o sistema exige menor trabalho no solo, uma instalação mais rápida, menos custos em material e mão-de-obra e maior rapidez de execução (Geberit, 2011).

3.5. Aplicações

O sistema sifónico é o sistema mais indicado para efetuar a recolha de água de coberturas a níveis elevados, não o sendo já, porém, para drenagem de águas freáticas ou ao nível de espaços térreos (terraços), já que a sua eficácia depende da diferença de cotas dos pontos de entrada e saída do sistema.

A recolha ao nível da cobertura pode ser feita em superfícies planas ou inclinadas (Figura 3.11). Em superfícies planas os ralos são implantados na própria cobertura e nas inclinadas são colocados em calhas/caleiras.



(a) (b)

Figura 3.11 – Aplicação do sistema sifónico (a) em cobertura plana, (b) em cobertura tipo *shed*. Retirado do manual da empresa Geberit

O tipo de cobertura inclinada mais utilizada em edifícios industriais é a cobertura em *shed* (Figura 3.11).

3.6. Dimensionamento do sistema sifónico

O sistema é dimensionado mediante o recurso a *software* especializado e em função dos projetos de estruturas e arquitetura do edifício, tendo em atenção a localização mais adequada para a colocação dos tubos de queda, a disposição dos ralos e as necessidades de aproveitamento de águas pluviais (Pereira, 2012).

O *software* traduz-se num programa de simulação de redes hidráulicas, mediante a aplicação do teorema de Bernoulli entre os diferentes pontos de entrada e saída do sistema no qual o caudal de cada ralo é conhecido. Este caudal é determinado para redes tradicionais uma vez que as bases de dimensionamento são as mesmas. O *software* inclui margens de segurança próprias para cada projeto e alerta o autor do projeto para a eventualidade da existência de algum fator que possa afetar o seu funcionamento.

A eficácia deste sistema irá depender da criação de pressões negativas (depressões) ao longo do seu traçado. Nesse sentido importa alcançar a máxima diferença de cotas entre os pontos de entrada e saída (evitando-se diferenças de cotas superiores a 4 m), bem como conceber reduções de diâmetros ao longo do traçado para potenciar o diferencial de pressões. Tal procedimento torna-se necessário para precaver a possibilidade das coberturas inferiores não estarem a admitir o caudal suficiente (por exemplo por motivos de entupimentos e avarias).

Também a disposição dos ralos deve ser projetada prevenindo possíveis obstruções que reduzam o caudal previsto, na medida em que a ausência de pressão pode fazer com que as águas coletadas superiormente circulem para patamares inferiores (Geberit, 2011).

Importante é, de igual modo, o dimensionamento das tubagens e a projeção das estruturas de suporte e eventuais sistemas de *trop-plein* de segurança.

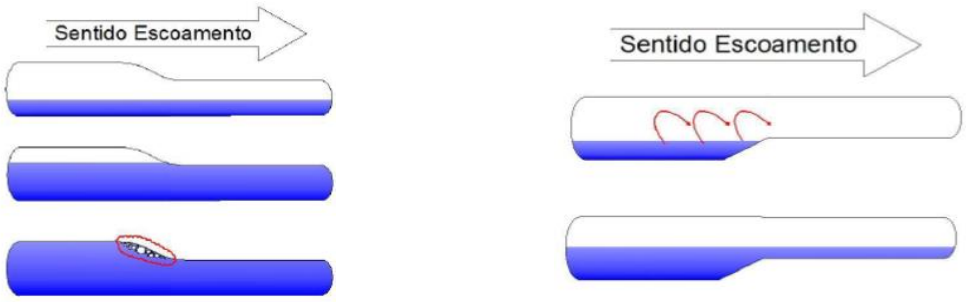
Um dos requisitos mínimos no dimensionamento para que se garanta a autolimpeza do sistema é que a velocidade mínima em todas as tubagens seja de 1 ms^{-1} (Geberit, 2011).

3.7. Recomendações

Para se alcançar maior eficiência e funcionalidade do sistema sifónico ter-se-á de respeitar alguns requisitos (Geberit, 2011; Pereira, 2012).

No que se refere à disposição dos ralos devem estes ser colocados cerca de 2 cm abaixo da superfície superior da cobertura, dessa forma se obtendo um correto encaixe sem afetar a sua impermeabilização. Por outro lado devem os diversos ralos numa distância entre si de, aproximadamente, 20 m quando ligados ao mesmo tubo de queda e a uma distância mínima de 1 m das platibandas e beirados (por serem pontos de eventual acumulação de detritos).

Um outro requisito a observar está relacionado com a alteração de diâmetros nas tubagens horizontais. Pela Figura 3.12, no caso de haver redução de diâmetro pelo bordo superior pode ocorrer aprisionamento de ar pré-existente após o sistema entrar em pressão. Se a redução de diâmetro ocorrer pelo bordo inferior existe impossibilidade de se escoar a água pluvial que ali fica concentrada, face a presença de um obstáculo.



(a) (b)

Figura 3.12 – Redução de diâmetro (a) pelo bordo superior e (b) pelo bordo inferior (Pereira, 2012)

Em conclusão, as reduções de diâmetro terão de ocorrer nos troços verticais, dessa forma se prevenindo as disfunções acima descritas. De igual modo, é recomendável que as alterações de inclinação e direção ocorram sempre através de curvas suaves.

As reduções de diâmetro da tubagem proporcionam benefícios no poder de sucção do sistema. Em face das diferenças de pressões atuantes no sistema, nem todos os caudais podem atravessar o mesmo diâmetro, já que quanto menor for este último, maiores será a perda de carga, impossibilitando o seu escoamento. Assim, é recomendável, para um melhor funcionamento do sistema, que haja aumento de diâmetros da tubagem, preferencialmente junto aos ralos.

O aumento do diâmetro da tubagem ao longo do sistema deve sempre ocorrer pelo seu bordo inferior (Figura 3.13) e de forma progressiva, a fim de garantir a continuidade do caudal e evitar a deposição de detritos nesse mesmo bordo. Ao invés, se esse aumento de diâmetro fosse feito pelo bordo superior correr-se-ia o risco de aprisionamento de ar.

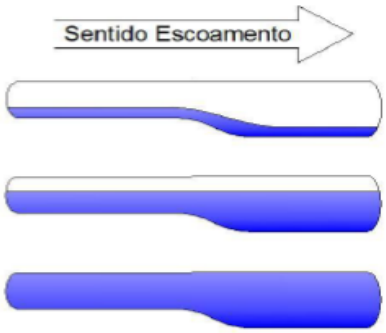


Figura 3.13 – Aumento de diâmetro nas tubagens horizontais pelo bordo inferior (Pereira, 2012)

Em síntese, as alterações de diâmetro da tubagem do sistema sifónico não poderão exceder a ordem de dois diâmetros comercializados, na medida em que uma alteração rápida de diâmetros repercute-se na otimização do escoamento.

Os sistemas de drenagem das habitações estão ligados às redes de drenagem urbana, que ainda funcionam em regime gravítico. Dai que seja necessário que na parte final do sistema sifónico e antecedendo a sua entrada na rede pública se faça uma transição entre os dois sistemas (sifónico e tradicional). Esta transição é exigível devido às velocidades no sistema sifónico serem superiores ao do sistema tradicional, o que provocaria deficiências de escoamento na rede urbana e ao desgaste dos materiais. Uma das formas de se realizar a transição é através do método de descompressão, que pode ser feito acima ou abaixo da laje. No primeiro caso a descompressão é feita mediante o aumento de diâmetro da tubagem antes desta atravessar a laje, de forma anular o efeito de pressão e reduzir a velocidade do escoamento. No segundo caso a partir do ponto onde atravessa a laje até à ligação da rede urbana o sistema irá funcionar tradicionalmente.

Nos casos em que a drenagem obedece ao artigo 114º do Regulamento e nas que exijam uma ligação direta a um meio recetor exterior não se torna necessário recorrer ao método de descompressão.

3.8. Sistema *first-flush* tradicional *vs* Sistema *first-flush* para drenagem sifónica.

Os dispositivos *first-flush* normalmente são utilizados em sistemas tradicionais, com a composição e funcionamento já referido anteriormente (subsecção 2.8.4). Contudo, também podem funcionar em sistemas sifónicos. Apesar de o objetivo final ser o mesmo, ou seja, eliminar as primeiras águas, a configuração a adotar para cada sistema terá de ser diferente.

Um sistema *first-flush* convencional não poderia ser utilizado num sistema sifónico, devido à estrutura do funcionamento deste último. Enquanto que o sistema *first-flush* convencional é instalado na transição caleira-tubo de queda, no sistema sifónico este mecanismo (dispositivo *first-flush*) deve ser colocado imediatamente antes dos reservatórios. Por esse motivo ao utilizar-se um dispositivo *first-flush* convencional, do tipo que se representou na Figura 2.8,

num sistema sifónico nunca seria alcançado o efeito pressão pretendido, na medida em que ocorre sempre entrada de ar para a tubagem.

4. MÉTODO EXPERIMENTAL

Neste capítulo descreve-se o sistema *first-flush* concebido para incorporação num SAAP com drenagem sifónica, respetiva instalação experimental e metodologia experimental adotada. Descreve-se igualmente o equipamento utilizado e apresentam-se as condições experimentais.

4.1. Sistema *first-flush* e instalação experimental

A instalação experimental encontra-se na Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana de Castelo, em Viana de Castelo, sendo certo que se tornou necessário efetuar alterações na sua constituição inicial para que fosse possível desenvolver o propósito pretendido. Tais alterações foram desenvolvidas em estreita colaboração com a Geberit e integralmente suportadas pela empresa.

O SAAP encontra-se encimado por uma cobertura, representado por uma caixa, em acrílico, com as dimensões de 120x100x19 cm, onde irá ser acolhida a água proveniente de 4 chuveiros estrategicamente colocados e que pretende simular a queda e receção de chuva (Figura 4.1). O caudal de água fornecido por estes chuveiros pode ser regulado a partir de um quadro elétrico, fazendo com que o sistema possa ou não funcionar em pressão (Figura 4.1).



(a)



(b)

Figura 4.1 – (a) Cobertura em acrílico e posicionamento dos 4 chuveiros, (b) Quadro elétrico onde se aciona o início da queda de água

Na cobertura encontra-se inserido um ralo sifónico Geberit (modelo Pluvia 12 Ls^{-1}) com flange para caleira (Tabela 4.1), que encaminha para a tubagem a água recolhida.

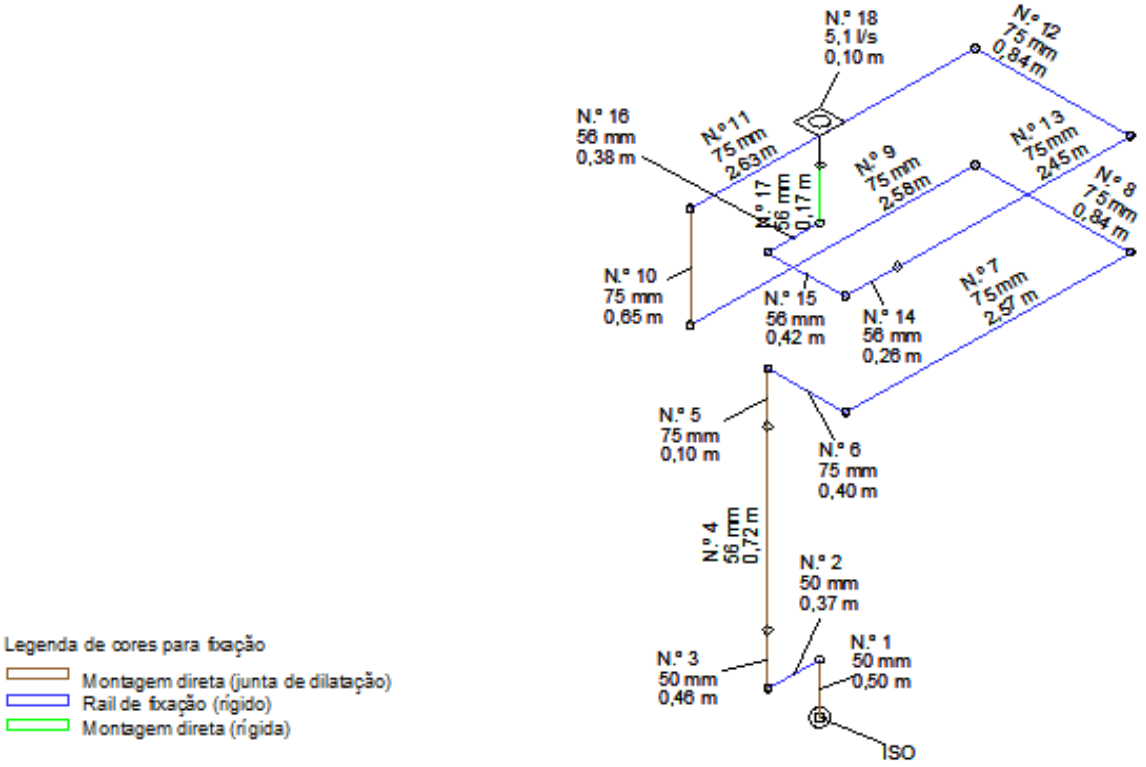
Tabela 4.1 – Características do ralo sifónico (Geberit)

Tipo	Ralo sifónico
Campo de aplicação	Materiais metálicos
Tubo de drenagem - Min (mm) - Max (mm)	 40 75
d (mm)	56
Altura de água máxima (mm)	35
Capacidade de drenagem - Min (Ls^{-1}) - Max (Ls^{-1})	 1 12
Q projeto (Ls^{-1})	12
Sob pressão com ar: 60 -95 % (Ls^{-1})	7,2 – 11,40
Sob pressão: > 95 % (Ls^{-1})	>11,40

Com o propósito de poder observar e assim compreender o funcionamento hidráulico da instalação, esta era constituída maioritariamente por tubagens de acrílico (Figura 4.2). Para se alcançar um melhor efeito de pressão optou-se pela colocação, sectorialmente, de tubagens de diferentes diâmetros (Figura 4.2).



(a)



(b)

Figura 4.2 – Instalação experimental (a) vista global, (b) esquema da instalação com definição dos diâmetros e comprimentos de cada troço de tubagem em acrílico (Geberit, 2014)

Na Tabela 4.2 e Tabela 4.3 apresentam-se as características da tubagem, para as situações de velocidade máxima e mínima, respetivamente.

Tabela 4.2 – Condições de escoamento para a velocidade máxima (Geberit, sendo: d o diâmetro da tubagem em mm; L o comprimento da tubagem em m; h a altura da tubagem em m; Qnom o caudal nominal em Ls^{-1}; Q o caudal efetivo em Ls^{-1}; v a velocidade em ms^{-1}; ΣZeta o fator corretor para o cálculo de perda de carga; L.R+Z a perda de carga contínua, onde L é o comprimento do troço, R é a perda de carga do troço e Z é a diferença de cota entre o início e o final; P a pressão em mbar; Psi a percentagem de enchimento em %.)

Troço N.º	d [mm]	L [m]	h [m]	Qnom [Ls^{-1}]	Q [Ls^{-1}]	v [ms^{-1}]	∑ Zeta	L·R+Z [mbar]	P [mbar]	Psi [%]
1	50		0,50	5,10	5,10	3,40	1,0	68	0	100
2	50	0,37		5,10	5,10	3,40	0,30	26	-37	100
3	50		0,46	5,10	5,10	3,40	0,30	28	-11	100

Troço N.º	**d [mm]**	**L [m]**	**h [m]**	**Qnom [Ls^{-1}]**	**Q [Ls^{-1}]**	**v [ms^{-1}]**	**∑ Zeta**	**L·R+Z [mbar]**	**P [mbar]**	**Psi [%]**
4	56		0,72	5,10	5,10	2,60	0,20	15	-6	100
5	75		0,10	5,10	5,10	1,40	0,30	3	-37	100
6	75	0,40		5,10	5,10	1,40	0,30	4	-43	100
7	75	2,57		5,10	5,10	1,40	0,30	10	-40	100
8	75	0,84		5,10	5,10	1,40	0,30	5	-30	100
9	75	2,58		5,10	5,10	1,40	0,30	10	-25	100
10	75		0,65	5,10	5,10	1,40	0,30	5	-15	100
11	75	2,63		5,10	5,10	1,40	0,30	10	-74	100
12	75	0,84		5,10	5,10	1,40	0,30	5	-64	100
13	75	2,45		5,10	5,10	1,40	0,30	9	-59	100
14	56	0,26		5,10	5,10	2,60	0,20	11	-74	100
15	56	0,42		5,10	5,10	2,60	0,30	15	-63	100
16	56	0,38		5,10	5,10	2,60	0,30	15	-48	100
17	56		0,17	5,10	5,10	2,60	0,30	12	-33	100
18	56		0,10	5,10	5,10	2,60	0,40	13	-37	100

Tabela 4.3 – Condições de escoamento para a velocidade mínima (Geberit, 2014)

Troço N.º	d [mm]	L [m]	h [m]	Qnom [Ls^{-1}]	Q [Ls^{-1}]	v [ms^{-1}]	∑ Zeta	L·R+Z [mbar]	P [mbar]	Psi [%]
1	50		0,50	2,70	2,70	2,70	1,0	29	0	42
2	50	0,37		2,70	2,70	2,70	0,30	11	-15	42
3	50		0,46	2,70	2,70	2,70	0,30	12	-4	42
4	56		0,72	2,70	2,70	2,10	0,20	6	-2	42
5	75		0,10	2,70	2,70	1,10	0,30	1	-16	42
6	75	0,40		2,70	2,70	1,10	0,30	2	-18	42
7	75	2,57		2,70	2,70	1,10	0,30	4	-17	42
8	75	0,84		2,70	2,70	1,10	0,30	2	-13	42
9	75	2,58		2,70	2,70	1,10	0,30	4	-10	42
10	75		0,65	2,70	2,70	1,10	0,30	2	-6	42
11	75	2,63		2,70	2,70	1,10	0,30	4	-31	42
12	75	0,84		2,70	2,70	1,10	0,30	2	-27	42
13	75	2,45		2,70	2,70	1,10	0,30	4	-25	42
14	56	0,26		2,70	2,70	2,10	0,20	5	-31	42

Troço N.º	d [mm]	L [m]	h [m]	Qnom [Ls^{-1}]	Q [Ls^{-1}]	v [ms^{-1}]	∑ Zeta	L·R+Z [mbar]	P [mbar]	Psi [%]
15	56	0,42		2,70	2,70	2,10	0,30	7	-27	42
16	56	0,38		2,70	2,70	2,10	0,30	6	-20	42
17	56		0,17	2,70	2,70	2,10	0,30	5	-14	42
18	56		0,10	2,70	2,70	2,10	0,40	6	-16	42

Instalado imediatamente antes dos reservatórios encontra-se o dispositivo *first-flush* (Figura 4.3).

O dispositivo *first-flush* consiste numa forquilha dotada de duas válvulas motorizadas cuja função é o de encaminhar as águas para o reservatório 1 (R1) ou reservatório 2 (R2) (Figura 4.4). O funcionamento dessas válvulas é feito manualmente, sendo que a sua ativação é feita eletricamente (Figura 4.4). Estas válvulas são acionadas por predefinição da duração do ciclo de fecho/abertura, simulando assim o período de tempo necessário para a rejeição das primeiras águas. Numa situação real o ciclo de fecho/abertura pode estar associado ao pré-estabelecimento de um nível da água pluvial no interior do reservatório R2.



(a) (b)

Figura 4.3 – Forquilha dotada de válvulas motorizadas do dispositivo *first-flush* (a) vista lateral, (b) esquema com a indicação dos reservatórios a jusante



(a)



(b)

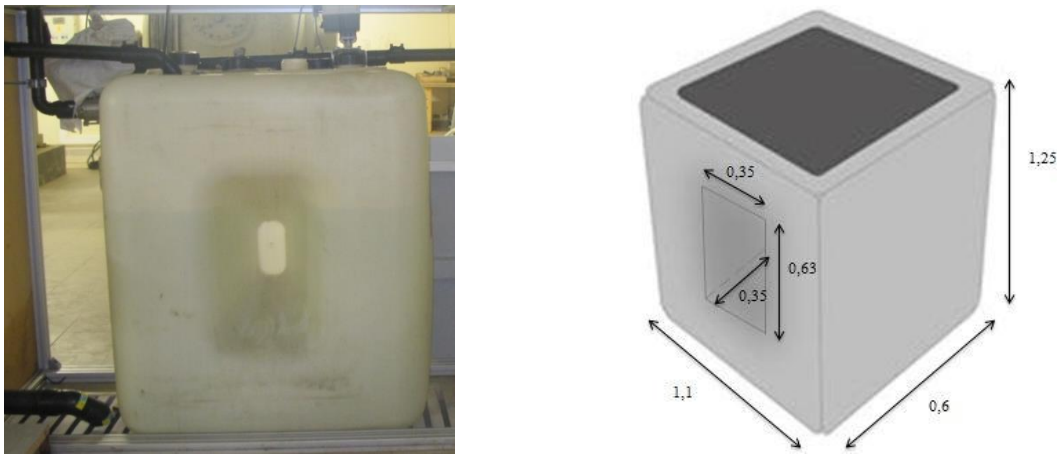
Figura 4.4 – (a) Válvulas monitorizadas 1 e 2, (b) Quadro elétrico que controla as válvulas

Após ser acionado o mecanismo elétrico, uma das válvulas inicia o processo de abertura enquanto a outra se fecha. Este processo prolonga-se durante cerca de 30 segundos (s). Segue-se um período variável de acordo com o tempo fixado no quadro elétrico, em que uma das válvulas permanece totalmente aberta e a outra totalmente fechada. Nos últimos 30 s do período de funcionamento definido, o processo inverte-se: a válvula fechada inicia o processo de abertura e a aberta inicia o processo de fecho.

R1 é o reservatório de armazenamento da água para utilização/consumo enquanto que R2 recebe as primeiras águas a rejeitar, visto não possuírem a qualidade necessária para a sua utilização.

A instalação experimental funciona em circuito fechado quando se utiliza água limpa, caso em que R1 é alimentado por água proveniente da rede de abastecimento do laboratório. Assim o nível da água em R1 é mantido entre um valor máximo e mínimo pré-estabelecidos, de maneira a permitir o correto funcionamento da bomba. Quando se utiliza corante, para melhor visualização do escoamento no interior das condutas, a instalação funciona em circuito aberto, sendo a água com corante que é desviada para R2 rejeitada para o esgoto do laboratório.

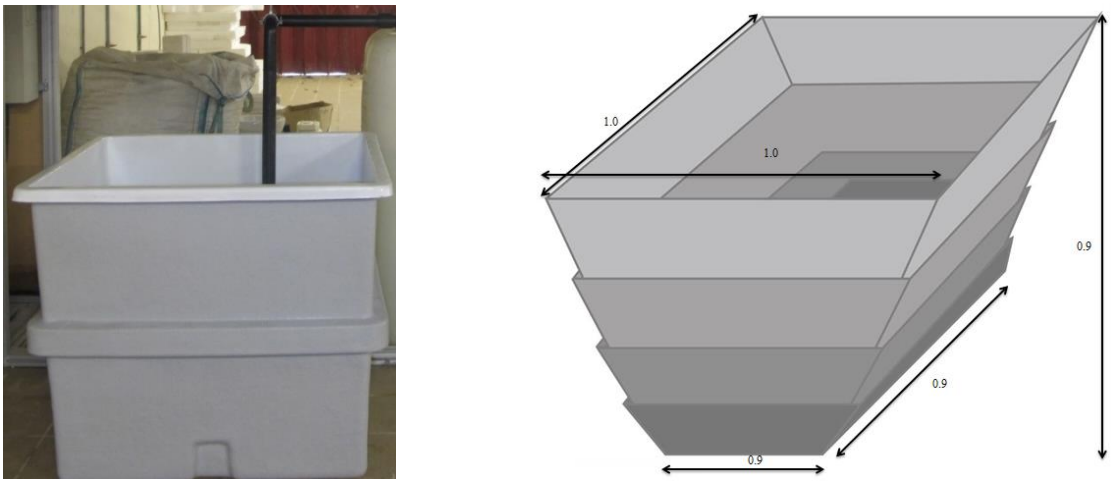
Em R1 (com 700 L de capacidade) encontra-se instalado uma bomba para aspiração de água, que é a responsável pelo encaminhamento da água para os chuveiros da cobertura. Este reservatório tem uma configuração irregular, semelhante a um paralelepípedo com uma depressão central e arestas arredondadas (Figura 4.5).



(a) (b)

Figura 4.5 – (a) R1, (b) Esquema de R1 (dimensões em metros)

No R2 (com 750 L de capacidade) encontra-se instalado, na sua base, uma válvula que permite o seu esvaziamento. Este reservatório também tem uma configuração irregular, semelhante a um tronco de pirâmide quadrangular invertida, com cada um dos lados em rampa (Figura 4.6).



(a) (b)

Figura 4.6 - (a) R2, (b) Esquema de R2 (dimensões em metros)

O cálculo dos diferentes volumes, desviado e armazenado, foi comum para todos os ensaios, tendo por base as expressões seguintes.

O volume desviado, no R2, foi calculado segundo a expressão:

$$V_{\text{desviado}} = V_{\text{tronco final de água no R2}} - V_{\text{tronco inicial de água no R2}} \quad (4.1)$$

O volume do tronco inicial e final de água que se encontrava no R2 foi calculado segunda a expressão:

$$V_{tronco} = \frac{h\ (B + \sqrt{B \times b} + b)}{3} \tag{4.2}$$

Em que:

- h Altura entre a base inferior e a base superior (cm);
- B Comprimento do lado da base maior ao quadrado (cm);
- b Comprimento do lado da base menor ao quadrado (cm).

O comprimento da base maior será:

$$C_{base\ maior} = C_{base\ menor} + H_{inicial\ da\ agua\ residual\ no\ R2} \times \left(\frac{C_{base\ inferior\ do\ R2} - C_{base\ superior\ do\ R2}}{H_{total\ do\ R2}}\right) = C_{base\ menor} + H_{inicial\ da\ agua\ residual\ no\ R2} \times 0.111 \tag{4.3}$$

O volume armazenado, no R1, foi calculado segundo a expressão:

$$V_{armazenado} = V_{debitado} - V_{desviado} \tag{4.4}$$

4.2. Equipamento de medição e visualização

4.2.1. Equipamento de visualização

Para registar em vídeo o escoamento no interior do circuito hidráulico até a entrada no dispositivo *first-flush* foi utilizada uma câmara de filmar Sony, Handycam, HDR-XR105E, apoiada num tripé. A extração, seleção e visualização de imagens a partir do vídeo foi efetuada com recurso ao *software* PMB.

4.2.2. Medição das alturas de água

Para determinação do nível de água residual existente no R2, antes e depois da realização de cada uma das experiências, recorreu-se a uma fita métrica convencional. Esta última foi, também, utilizada para a medição da altura água acumulada na cobertura, após a entrada em pressão e em momentos distintos da experiência.

Para a determinação das alturas de água na cobertura, a partir das imagens vídeo recolhidas, recorreu-se ao *software* ImageJ.

Na execução deste software, aciona-se o ficheiro pretendido. De seguida, com a imagem já visionável, determina-se o valor da altura da cobertura retratada na mesma, obtendo-se, assim, uma escala global (relação de imagem-realidade). Na barra de ferramentas do software é feita a correspondência imagem-realidade ("Analyze"; "Set Scale"), após o que é fornecida a distância entre pixéis (145,61), sendo que a distância real é por nós determinada segundo a medição efetuada (19 cm). No seguimento, e imobilizadas as imagens sequenciais de cada uma das experiências, determina-se o valor da altura de água na cobertura, ajustando-se uma linha perpendicular a partir do nível superior da água à base da cobertura.

4.3. Condições experimentais

Objetivo essencial deste trabalho é determinar e minimizar o volume de água a ser desviado e encaminhado para o R2, bem como determinar o tempo mínimo aconselhável para que o sistema *first-flush* desempenhe a sua função de rentabilizar o aproveitamento das águas pluviais quando o escoamento se realiza sob pressão.

Para esse efeito, foram realizados 5 ensaios sem recurso a corante e outros 6 ensaios com recurso a corante. Todos eles foram repetidos 3 vezes de maneira a reduzir a incerteza experimental associada. Optou-se, na realização dos ensaios, por uma igual velocidade de caudal debitado, por diversas durações de precipitação e diversos períodos de funcionamento do dispositivo *first-flush*.

Assim, adotaram-se eventos de precipitação com durações iguais a 4, 5 e 6 min, para se quantificar as diferentes quantidades de água desviada e armazenada.

Para melhor visionamento e melhor qualidade das imagens vídeo das experiências houve necessidade de se proceder a uma limpeza interna e externa das tubagens, em acrílico, do sistema.

Após estudos efetuados, concluiu-se que a solução com garantia de alguma eficácia nessa limpeza seria uma solução de ácido clorídrico com concentração aproximada de 0.20 mol/dm^3. O ácido clorídrico concentrado, da marca Fisher Chemical, apresentava as características apresentadas na Tabela 4.4. A ficha de segurança deste produto químico apresenta-se no Anexo I - Ficha de Segurança do HCl desta dissertação.

Tabela 4.4 – Caracterização do ácido de lavagem

Nome do produto	HCl
37 g de HCl em 100 g	37 %
Densidade	1,18
Massa Molar	36,46 g/mol

A preparação da solução diluída de HCL obtém-se mediante a colocação de 10 L de água destilada num recipiente de 25 L. De seguida adicionou-se 18 mL de HCl concentrado por litro de solução final, no recipiente 450 mL. Por fim, adicionou-se água da torneira até perfazer o volume final do recipiente (25 L).

Para a execução da série experimental com recurso a corante produziu-se um corante azul-de-metileno com as características abaixo mencionadas (Tabela 4.5). A ficha de segurança deste corante apresenta-se no Anexo II – Ficha de Segurança de Azul-de-metileno desta dissertação.

Tabela 4.5 – Caracterização do corante

Nome do produto	Azul-de-metileno
2 g de azul-de-metileno em 100 g	2 %
Formula	$C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$
Massa Molar	373,90 g/mol

A preparação da solução do corante foi obtida mediante a dissolução de um solvente misto de etanol em água na proporção de 1+2, ou seja, para 1 volume de etanol foram utilizados 2 volumes de água, pelo que no caso da presente experiência se utilizou 40 mL de etanol com

80 mL de água destilada. De seguida colocou-se cerca de 80 mL de solvente num goblé de 150 mL e adicionaram-se 2.40 g de azul-de-metileno. Depois procedeu-se à mistura com a ajuda de uma vareta até se obter a dissolução completa. Por fim, adicionou-se solvente até perfazer o volume de 120 mL.

A realização das experiências com este tipo de corante visou determinar, com maior rigor e visibilidade, os momentos relativos à entrada em funcionamento do sistema em pressão, a reação subsequente (água e corante) e o momento em que se verifica a quebra do sistema sob pressão. Para se alcançar o visionamento desses momentos o corante teve que ser vertido no ralo sifónico. A quantidade vertida (10 mL) foi previamente determinada em função do caudal de água existente em toda a tubagem, e momentos antes (cerca de 5 s) do sistema entrar sob pressão. Nesse sentido recorreu-se a uma pipeta e uma borracha de aspiração.

O caudal debitado pelos chuveiros foi determinado experimentalmente, cronometrando o tempo necessário para que o volume de água debitado por um dos chuveiros enchesse um copo graduado de 2 L. Para reduzir a incerteza experimental associada a este procedimento, aumentando assim a confiança nos resultados, esta determinação foi feita quatro vezes (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 – Ensaios para determinar o caudal debitado

Nº de ensaio	Tempo de enchimento do recipiente de 2 L (s)	Caudal (Ls^{-1})
1	2,15	3,72
2	2,28	3,51
3	2,40	3,33
4	2,35	3,40

Para cada um dos ensaios calculou-se o caudal debitado pelos 4 chuveiros, que por terem idêntico funcionamento demoram o mesmo tempo a debitar o volume de 2 L, recorrendo à expressão 4.5.

$$Q = \frac{4 \times V}{T} \tag{4.5}$$

Assim, o caudal debitado foi determinado pela média dos caudais dos 4 ensaios, correspondendo a um valor de 209,51 $Lmin^{-1}$.

Adotaram-se intervalos de funcionamento das válvulas monitorizadas, aproximadamente, iguais a 1, 2, 3, 4 e 5 min.

O resumo de todas estas condições experimentais encontra-se na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Condições experimentais

Ensaio	Sem corante	Com corante	Duração da precipitação (min)	Período de funcionamento das válvulas (min)	Caudal debitado (Ls^{-1})
1	X		6	1	3,49
2	X		6	2,02	3,49
3	X		6	2,57	3,49
4	X		6	4	3,49
5	X		6	5,06	3,49
6		X	6	2,50	3,49
7		X	6	4,13	3,49
8		X	6	4,55	3,49
9		X	5	3,04	3,49
10		X	5	3,55	3,49
11		X	4	3,04	3,49

4.4. Metodologia experimental

Descreve-se a seguir a metodologia experimental desenvolvida e adotada para a realização e bom funcionamento de todo o processo.

Todas as experiências foram filmadas recorrendo a uma máquina vídeo digital, de maneira a poder recolher informação relativa ao nível da superfície livre na cobertura e do nível da água no interior do tubo 10.

Previamente ao início de toda a atividade experimental houve necessidade de caraterizar todos os elementos que compõem o SAAP, designadamente: comprimentos e diâmetros de tubagens, medição e definição da capacidade dos R1 e R2, bem como da cobertura, e caracterização do ralo sifónico já instalado.

Inicialmente determina-se o volume de água existente no R2. De seguida, é acionado o interruptor, existente no quadro elétrico, dando início ao funcionamento das válvulas motorizadas. Desta forma abre-se a válvula 2 (V2) (a montante de R2) e fecha-se a válvula 1 (V1) (a montante de R1), de maneira a que a água inicial seja rejeitada. Após a ligação da bomba que alimenta o circuito hidráulico, segue-se um período de observação do enchimento da tubagem para determinar o instante de entrada do escoamento em pressão. Observa-se de seguida uma quebra desta entrada em pressão e uma nova entrada em pressão, até se atingir a duração de precipitação pré-estabelecida. Após a segunda entrada em pressão até ao final, quantifica-se, normalmente para 3 instantes, a quantidade de água existente na cobertura. Nesta fase, as válvulas motorizadas entram em funcionamento de novo, fechando-se a V2 e abrindo-se a V1, de maneira a possibilitar a passagem de água para R1. Após o acionamento do sistema de fecho de todo o sistema procede-se à quantificação do volume de água existente em R2.

Quando as experiências eram efetuadas com corante, este era adicionado no centro do ralo sifónico, após a paragem das válvulas monitorizadas e instantes antes do sistema entrar em pressão, com o propósito de evitar que a água tingida fosse encaminhada para R1.

4.5. Incerteza experimental

Como é usual em todos os trabalhos experimentais, e este trabalho não fugiu à regra, existe sempre uma margem de erro e incerteza experimental.

4.5.1. Incerteza experimental da quantidade de corante vertido no ralo sifónico

A incerteza experimental da quantidade de corante vertido no ralo sifónico no seguimento das diversas experiências realizadas está intimamente relacionado com a imprecisão de

enchimento da pipeta efetuado através de uma borracha de aspiração acionada mediante pressão manual. A incerteza da pipeta graduada é de 0,10 mL.

Sucede, porém, que esta incerteza não se apresenta com contornos de grande relevância na medida em que a maior ou menor quantidade de corante não produz efeitos substancialmente visíveis na reação após a sua dissolução na água, mas apenas prolongava ou reduzia o período da sua permanência na tubagem.

4.5.2. Incerteza experimental do volume em R2

A incerteza experimental relativa ao volume de R2 fica-se a dever à circunstância das medidas terem sido obtidas mediante a utilização de uma fita métrica e do respetivo reservatório apresentar uma configuração irregular. Nesse sentido, partiu-se do pressuposto, para os cálculos de volumes de água, que o referido reservatório tinha configuração de um tronco de uma pirâmide quadrangular invertida.

A incerteza relativa do volume do R2 é dada pela equação 4.6.

$$\frac{U_{V_{R2}}}{V_{R2}} = \sqrt{(\frac{U_C}{C})^2 + (\frac{U_L}{L})^2 + (\frac{U_H}{H})^2} \tag{4.6}$$

Em que:

- V_{R2} Volume de água em R2;
- C Comprimento de R2;
- L Largura de R2;
- H Altura de água R2.

A incerteza das medições é igual a 0,50 mm. Na Tabela 4.8 apresenta-se a incerteza experimental para várias alturas de água em R2.

As incertezas estimadas para o volume no R2 não apresentam valores significativos. Contudo, essas mesmas incertezas poderão ter alguma relevância no cálculo do volume desviado e, consequentemente, no volume armazenado, já que a cada 1 cm de altura ocorre um alargamento, nos 4 lados, de 0,11 cm.

Tabela 4.8 – Incerteza experimental em R2

H (m)	Comprimento (m)	Largura (m)	Incerteza relativa (%)
0,05	0,91	0,91	1,04
0,19	0,92	0,92	0,27
0,38	0,94	0,94	0,15
0,63	0,97	0,97	0,11
0,82	0,99	0,99	0,09

4.5.3. Incerteza experimental do caudal debitado

A incerteza experimental do caudal debitado na realização dos ensaios é dada pela equação 4.7.

$$\frac{U_Q}{Q} = \sqrt{(\frac{U_V}{V})^2 + (\frac{U_T}{T})^2} \tag{4.7}$$

Em que:

Q Caudal;

V Volume;

T Duração temporal.

A incerteza na medição do volume de água (V) é igual a 0,05 L para volumes medidos com um copo graduado de 2 L. A duração temporal (T) foi determinada através de um cronómetro cuja incerteza é 0,22 s, valor obtido ligando e desligando o cronómetro o mais rapidamente possível.

Na Tabela 4.9 apresenta-se a incerteza experimental para o caudal debitado nos ensaios.

Tabela 4.9 – Incerteza experimental para o caudal debitado

Caudal ($Lmin^{-1}$)	Caudal (Ls^{-1})	Incerteza	
		Absoluta (Ls^{-1})	Relativa (%)
209,51	3,49	0,77	22,10

A incerteza estimada para a quantificação do caudal debitado apresenta um valor significativo. Tal fica a dever-se à forma como foi determinado, com recurso a um copo graduado e à cronometragem manual efetuada no seu enchimento. Esta elevada incerteza repercute-se nos cálculos finais dos volumes armazenado e desviado.

4.5.4. Incerteza experimental da determinação dos instantes

A incerteza experimental relativa da determinação dos diferentes instantes fica a dever-se à menor ou maior exatidão no acionamento do cronómetro, que se repercute, necessariamente, nos momentos do início e fim de contagem.

A incerteza associada à duração temporal é de 0,22 s, valor obtido ligando e desligando o cronómetro o mais rapidamente possível.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentam-se os resultados experimentais do trabalho desenvolvido, bem como a respetiva análise e discussão.

5.1. Resultados experimentais

Apresentam-se os resultados obtidos no âmbito das experiências realizadas sem recurso a corante (secção 5.1.1) e com recurso a corante (secção 5.1.2), de acordo com as condições experimentais apresentadas na Tabela 4.7.

5.1.1. Experiências sem corante

As experiências foram realizadas determinando o instante em que o sistema entrava em pressão, e as alturas de água inicial e final em R2.

O visionamento das imagens vídeo permitiu, após a entrada em pressão, obter a altura de água na cobertura, em diversos momentos.

No ensaio 1 (constituído pelas experiências 1.1, 1.2 e 1.3) o período de funcionamento das válvulas monitorizadas foi de 1 min. Desse 1 min, 30 s são relativos ao processo de abertura da V2 e o encerramento da V1, e os outros 30 s para o processo de encerramento da V2 e abertura da V1. Assim, a V2 permaneceu totalmente aberta cerca de 1 s, período de tempo que se revelou escasso para que se pudesse alcançar qualquer passagem de água relevante. Tal se fica a dever ao facto de apenas se acionar o botão no quadro elétrico para início de caudal de água imediatamente após a primeira paragem das válvulas.

Os resultados deste primeiro ensaio, obtidos por medições no local e pelo visionamento das imagens vídeo e sua análise, encontram-se na Tabela 5.1 e Tabela 5.2.

Apurou-se o valor de 209,51 $Lmin^{-1}$, como sendo o do caudal debitado. Porém, como neste caso a duração de precipitação foi de 6 min, o volume debitado durante toda a experiência foi de 1257,06 L.

Tabela 5.1 – Resultados do ensaio 1 por medições no local

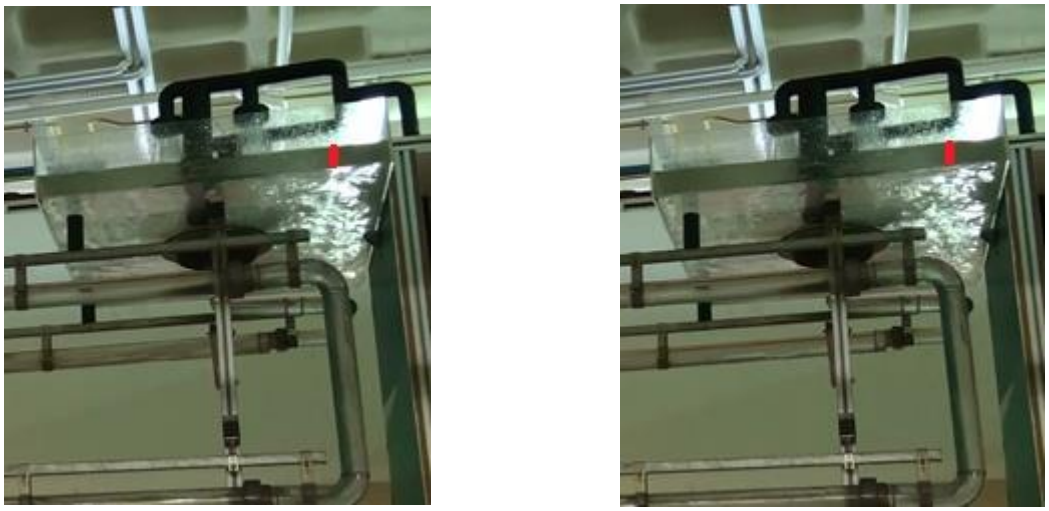
Período de funcionamento das válvulas (min)	1			
Duração da precipitação (min)	6			
Medições				
	1.1	1.2	1.3	Unidades
$V_{precipitado,6\ min}$	1257,06	1257,06	1257,06	L
Intervalo de tempo em que a V2 está totalmente aberta	1	1	1	s
Altura de água residual (R2)	4,50	4,50	4,40	cm
Instante em que entra em pressão	54,92	48,01	50,78	s
Intervalo de tempo que fica em pressão	10,68	10,98	9,68	s
Instante de quebra de pressão	65,60	58,99	60,46	s
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	11,75	13,55	10,87	s
Altura de água final (R2)	4,80	4,80	4,70	cm
$V_{desviado}$	2,46	2,46	2,46	L
$V_{armazenado}$	1254,60	1254,60	1254,60	L

Da Tabela 5.1 conclui-se que o volume desviado é muito reduzido, pois apenas transita para o R2 a água que se encontra na tubagem imediatamente após o dispositivo *first-flush*. Ao invés, o volume armazenado é bastante elevado, uma vez que, logo após o início do caudal de água, esta é direcionada para o R1.

Tabela 5.2 – Resultados do ensaio 1 por visionamento das imagens vídeo

Filmagem								
	1.1		1.2		1.3		Unidades	
Instante em que entra em pressão	49		45		48		s	
Intervalo de tempo que fica em pressão	12		12		10		s	
Instante de quebra de pressão	61		57		58		s	
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	11		12		12		s	
Altura de água na cobertura quando entra em pressão (com espessura)	1,27	7,36	1,31	5,75	1,31	5,37	min	cm
	1,50	7,66	1,55	6,03	1,53	6,22	min	cm
	2,20	7,67	2,25	6,03	2,23	6,22	min	cm
	2,50	7,36	2,55	6,30	2,53	5,94	min	cm
	3,20	7,36	3,25	6,30	3,23	5,94	min	cm
	3,50	7,67	3,55	6,85	3,53	5,94	min	cm
	4,20	7,66	4,25	6,85	4,23	5,94	min	cm
	4,50	7,36	4,55	6,85	4,53	-	min	cm
	5,20	7,66	5,25	6,85	5,23	-	min	cm
	5,50	7,97	5,55	6,58	5,53	-	min	cm
	6,20	7,67	6,25	6,58	6,23	-	min	cm

Observou-se que a altura do nível de água na cobertura é igual a 5,75 cm no instante 1,31 min (Figura 5.1), correspondendo ao momento exato em que o sistema entra em pressão. No instante 3,55 min (Figura 5.1), a altura do nível de água na cobertura subiu para 6,85 cm. Contudo, assistiu-se posteriormente a uma diminuição do nível da água na cobertura.



(a) (b)

Figura 5.1 - Imagem experiência 1.2 (a) ao 1,31 min, (b) aos 3,55 min

Da Tabela 5.2 conclui-se, mediante comparação das 3 experiências, que: na primeira, e reportado ao momento em que o sistema entra em pressão, o nível de água na cobertura é ligeiramente diferente em relação às demais. Esta diferença deve-se à circunstância das medidas recolhidas o terem sido em momento de turbulência da água debitada pelos quatro chuveiros para a cobertura, situação que dificultou a leitura.

O ensaio 2 (constituído pelas experiências 2.1, 2.2 e 2.3) tem uma duração de funcionamento das válvulas de 2,02 min. O mecanismo e o período de duração do processo de abertura e fecho das válvulas são iguais ao ensaio 1. Assim, a V2 permaneceu totalmente aberta cerca de 1 min, pelo que já se assiste a passagem de alguma quantidade água. Os resultados deste ensaio encontram-se na Tabela 5.3 e na Tabela 5.4.

Da Tabela 5.3 verifica-se que o volume desviado e o volume armazenado são semelhantes nas 3 experiências. O volume desviado é significativamente menor que o volume armazenado devido ao facto de existir um período de tempo reduzido em que a V2 se encontra totalmente aberta, permitindo a passagem de uma quantidade de água também ela reduzida.

Tabela 5.3 – Resultados do ensaio 2 por medições no local

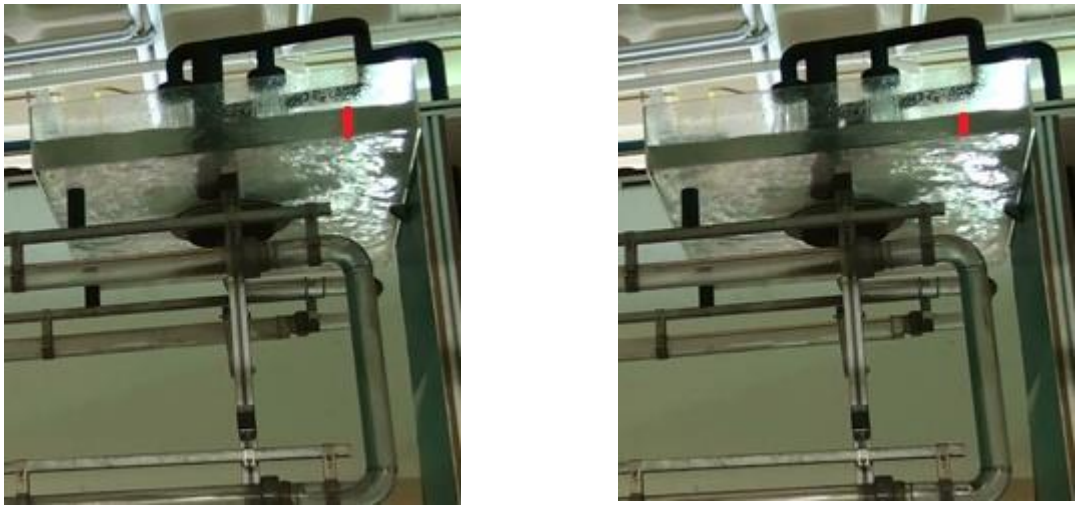
Período de funcionamento das válvulas (min)			2,02	
Duração da precipitação (min)			6	
Medições				
	2.1	2.2	2.3	Unidades
$V_{precipitado,6\ min}$	1257,06	1257,06	1257,06	L
Intervalo de tempo em que a V2 está totalmente aberta	60	60	60	s
Altura de água residual (R2)	4,10	5	5,20	cm
Instante em que entra em pressão	55,21	53,76	55,20	s
Intervalo de tempo que fica em pressão	5,78	5,33	6,29	s
Instante de quebra de pressão	60,99	59,09	61,49	s
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	8,57	9,16	8,70	s
Altura de água final (R2)	18,50	19	19,50	cm
$V_{desviado}$	119,92	116,79	119,39	L
$V_{armazenado}$	1137,14	1140,27	1137,66	L

De acordo com a Tabela 5.4, na experiência 2.2, é visível a diferença de altura constatada nos momentos em que o sistema entra em pressão e quando o sistema já se encontra sob pressão há bastante tempo (no final da precipitação). Na Figura 5.2 é visível e notória essa diferença.

Tabela 5.4 – Resultados do ensaio 2 por visionamento das imagens vídeo

Filmagem								
	2.1		2.2		2.3		Unidades	
Instante em que entra em pressão	55		54		55		s	
Intervalo de tempo que fica em pressão	6		6		6		s	
Instante de quebra de pressão	61		60		61		s	
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	8		8		8		s	
Altura de água na cobertura quando entra em pressão (com espessura)	1,37	7,35	1,35	8,09	1,36	7,83	min	cm
	1,51	7,60	1,49	8,61	1,50	8,09	min	cm
	2,21	7,60	2,19	8,09	2,20	8,09	min	cm
	2,51	7,11	2,49	7,57	2,50	7,31	min	cm
	3,21	7,11	3,19	7,57	3,20	7,05	min	cm
	3,51	7,60	3,49	7,05	3,50	7,05	min	cm
	4,21	6,86	4,19	6,26	4,20	6,52	min	cm
	4,51	6,86	4,49	6,26	4,50	6,52	min	cm
	5,21	6,86	5,19	5,74	5,20	6,52	min	cm
	5,51	6,86	5,49	5,74	5,50	6,26	min	cm
	6,21	6,86	6,19	5,74	6,20	6,26	min	cm

Nestas experiências, e ao longo do período em que os mesmos se desenvolvem, o nível de água na cobertura segue, praticamente, a mesma regra: inicia-se com um determinado valor, aumentando durante cerca um min e, depois, vai-se assistindo à diminuição desse nível até ao momento final, sendo que o valor final é sempre inferior ao valor do nível de água reportado ao momento em que o sistema entra em pressão.



(a) (b)

Figura 5.2 - Imagem da experiência 2.2 (a) ao 1,35 min, (b) aos 6,19 min

O ensaio 3 (experiências 3.1, 3.2 e 3.3) tem uma duração de funcionamento das válvulas de 2,57 min. Tendo em conta todo o mecanismo e duração do processo de abertura e fecho, nestes ensaios a V2 está totalmente aberta durante cerca de 1,53 min. Durante esse período de tempo, assiste-se à passagem de água para o R2, provocando uma diminuição da quantidade de água a armazenar. Nas Tabela 5.5 e Tabela 5.6 apresentam-se os resultados do ensaio 3.

Da Tabela 5.5 conclui-se que existe, ainda, maior quantidade de água desviada do que quantidade de água armazenada, na medida em que o tempo em que a V2 está aberta ainda é reduzido para que haja uma igualdade nos volumes.

De acordo com a Tabela 5.6, e comparando as 3 experiências, importa concluir que: no primeiro, e no momento em que o sistema entra em pressão, o nível de água medido na cobertura é ligeiramente inferior relativamente às demais, situação essa que terá a mesma explicação daquela que foi dada anteriormente (ensaio 1). No que se reporta ao nível de água na cobertura, este conjunto de ensaios segue a mesma metodologia referida no ensaio 2.

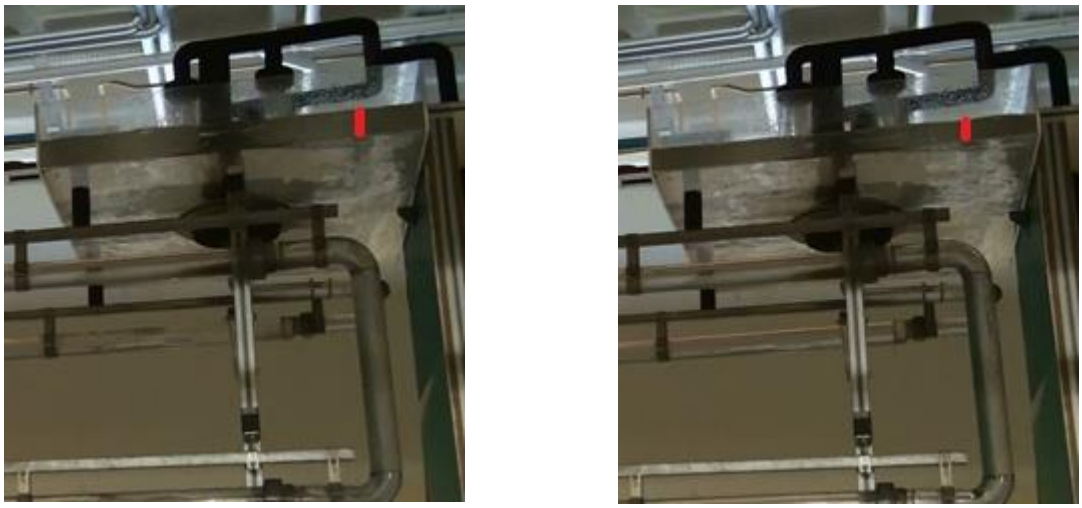
Tabela 5.5 – Resultados do ensaio 3 por medições no local

Período de funcionamento das válvulas (min)				2,57
Duração da precipitação (min)				6
Medições				
	3.1	3.2	3.3	Unidades
$V_{precipitado,6\ min}$	1257,06	1257,06	1257,06	L
Intervalo de tempo em que a V2 está totalmente aberta	113	114	113	s
Altura de água residual (R2)	4,30	4,80	5,20	cm
Instante em que entra em pressão	52,36	56,40	54,29	s
Intervalo de tempo que fica em pressão	9,66	4,94	6,65	s
Instante de quebra de pressão	62,02	61,34	60,94	s
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	7,98	8,63	7,79	s
Altura de água final (R2)	38	38	37,50	cm
$V_{desviado}$	287,45	283,35	275,64	L
$V_{armazenado}$	969,61	973,70	981,42	L

Tabela 5.6 – Resultados do ensaio 3 por visionamento das imagens vídeo.

Filmagem								
	3.1		3.2		3.3		Unidades	
Instante em que entra em pressão	50		52		51		s	
Intervalo de tempo que fica em pressão	9		9		7		s	
Instante de quebra de pressão	59		61		58		s	
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	8		6		8		s	
Altura de água na cobertura quando entra em pressão (com espessura)	1,33	7,25	1,34	8,06	1,46	7,78	min	cm
	1,50	7,59	1,49	7,23	2,01	7,50	min	cm
	2,20	7,59	2,19	7,59	2,31	8,06	min	cm
	2,50	7,50	2,49	7,78	3,01	7,22	min	cm
	3,20	7,00	3,19	7,23	3,31	6,95	min	cm
	3,50	7,00	3,49	7,23	4,01	6,67	min	cm
	4,20	6,69	4,19	6,67	4,31	6,67	min	cm
	4,50	6,69	4,49	6,39	5,01	6,67	min	cm
	5,20	6,39	5,19	6,39	5,31	6,40	min	cm
	5,50	6,17	5,49	5,60	6,01	5,84	min	cm
	6,20	6,17	6,19	5,00	6,31	5,84	min	cm

Um exemplo visível da diferença de altura em diferentes instantes (Figura 5.3) na experiência 3.2 é, precisamente, no momento em que o sistema entra em pressão e no final da precipitação.



(a) (b)

Figura 5.3 - Imagem da experiência 3.2 (a) ao 1,34 min, (b) aos 6,19 min

O ensaio 4 (experiências 4.1, 4.2 e 4.3) tem uma duração de funcionamento das válvulas por 4 min, no decurso do que a V2 está totalmente aberta cerca de 2,58 min. Durante este período de tempo ocorre uma passagem de quantidade de água considerável para o R2. Contudo neste conjunto de ensaios não ocorre, ainda, maior quantidade de água desviada do que aquela que é armazenada. Este facto é comprovado Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Resultados do ensaio 4 por medições no local

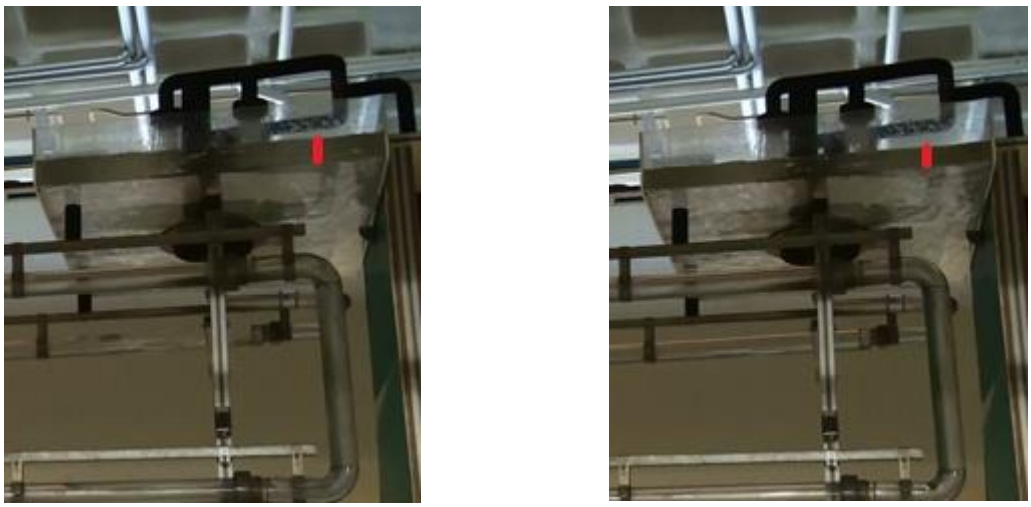
Período de funcionamento das válvulas (min)			4	
Duração da precipitação (min)			6	
Medições				
	4.1	4.2	4.3	Unidades
$V_{precipitado,6\ min}$	1257,06	1257,06	1257,06	L
Intervalo de tempo em que a V2 está totalmente aberta	178	178	178	s
Altura de água residual (R2)	8,50	6	7	cm
Instante em que entra em pressão	55,67	56,33	56,68	s
Intervalo de tempo que fica em pressão	5,23	5,34	3,30	s
Instante de quebra de pressão	60,90	61,67	59,98	s
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	11,24	10,03	12,58	s
Altura de água final (R2)	64,50	62,50	63,20	cm
$V_{desviado}$	495,58	497,36	495,71	L
$V_{armazenado}$	761,474	759,70	761,35	L

De acordo com a Tabela 5.8, na experiência 4.2, no momento em que o sistema entra em pressão, a altura de água na cobertura é superior à verificada nas outras duas experiências no mesmo instante. Tal como o ensaio 2 e 3, este ensaio segue a mesma regra do aumento e diminuição do nível de água.

Tabela 5.8 – Resultados do ensaio 4 por visionamento das imagens vídeo

Filmagem								
	4.1		4.2		4.3		Unidades	
Instante em que entra em pressão	52		57		54		s	
Intervalo de tempo que fica em pressão	8		5		5		s	
Instante de quebra de pressão	60		62		59		s	
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	7		6		8		s	
Altura de água na cobertura quando entra em pressão (com espessura)	1,43	7,45	1,41	7,99	1,36	7,00	min	cm
	1,58	7,74	1,52	7,99	1,49	7,00	min	cm
	2,28	7,45	2,22	8,29	2,19	7,00	min	cm
	2,58	7,45	2,52	7,99	2,49	7,29	min	cm
	3,28	7,17	3,22	7,99	3,19	6,71	min	cm
	3,58	6,88	3,52	7,99	3,49	7,00	min	cm
	4,28	6,59	4,22	7,40	4,19	6,42	min	cm
	4,58	6,59	4,52	6,81	4,49	6,42	min	cm
	5,28	6,02	5,22	6,81	5,19	6,42	min	cm
	5,58	6,02	5,52	6,81	5,49	6,42	min	cm
	6,28	6,02	6,22	6,81	6,19	6,42	min	cm

Na Figura 5.4 é visível a diferença do nível de água na cobertura.



(a) (b)

Figura 5.4- Imagem da experiência 4.1 (a) ao 1,43 min, (b) aos 6,28 min

Por fim, o ensaio 5 (experiências 5.1, 5.2 e 5.3) tem uma duração de funcionamento das válvulas de 5,06 min, no decurso da qual a V2 está totalmente aberta cerca de 4,05 min. Este tempo equivale a cerca de dois terços do tempo de precipitação, o que provoca um desvio enorme de quantidade de água para o R2. Neste ensaio a quantidade de água armazenada é menor quando comparada com os restantes ensaios. Nas Tabela 5.9 e Tabela 5.10 descrevem-se os resultados obtidos.

Tabela 5.9 – Resultados do ensaio 5 por medições no local

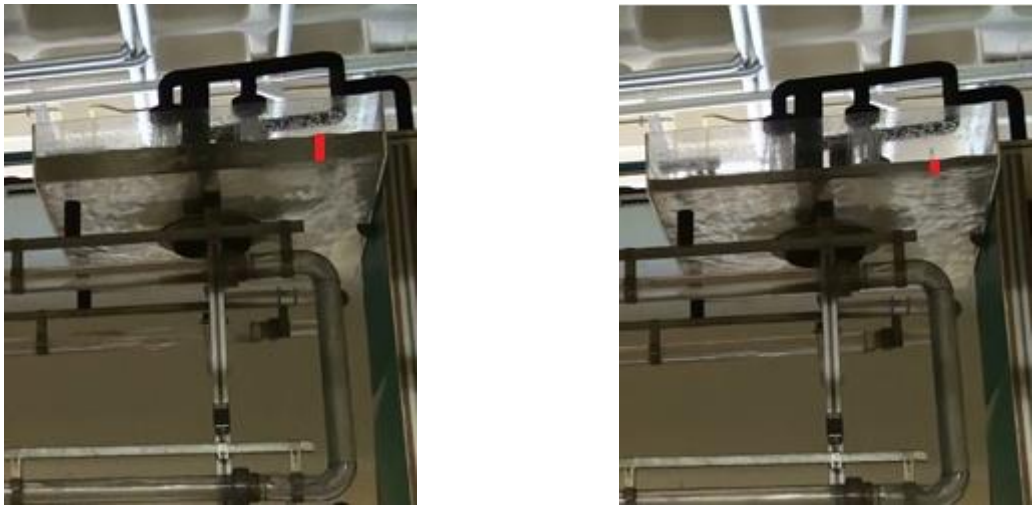
Período de funcionamento das válvulas (min)			5,06	
Duração da precipitação (min)			6	
Medições				
	5.1	5.2	5.3	Unidades
$V_{precipitado,6\ min}$	1257,06	1257,06	1257,06	L
Intervalo de tempo em que a V2 está totalmente aberta	4,05	4,05	4,05	s
Altura de água residual (R2)	2	4,50	4,70	cm
Instante em que entra em pressão	49,67	57,16	56,4	s
Intervalo de tempo que fica em pressão	7,65	2,93	5,72	s
Instante de quebra de pressão	57,32	60,09	62,12	s
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	7,15	9,05	6,91	s
Altura de água final (R2)	81	83	81,90	cm
$V_{desviado}$	707,66	706,89	694,44	L
$V_{armazenado}$	549,40	550,17	562,62	L

De acordo com a Tabela 5.10, na experiência 5.3, no momento em que o sistema entra em pressão, a altura de água na cobertura é superior à verificada nas outras duas experiências no mesmo instante. Ainda na mesma experiência e na experiência 5.1, a partir do minuto 5, o nível de água no R1 atingiu um nível inferior ao recomendado, afetando o funcionamento da bomba, ocorrendo uma quebra do nível de água debitada (efetuado apenas por 2 chuveiros). Dai que, aos últimos 3 valores da experiência 5.3 (3,85 cm; 4,15 cm) e os últimos 2 valores da experiência 5.1 (3,21 cm) não deva dar-se real importância.

Tabela 5.10 – Resultados do ensaio 5 por visionamento das imagens vídeo

Filmagem								
	5.1		5.2		5.3		Unidades	
Instante em que entra em pressão	51		53		57		s	
Intervalo de tempo que fica em pressão	7		7		6		s	
Instante de quebra de pressão	58		60		63		s	
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	7		7		6		s	
Altura de água na cobertura quando entra em pressão (com espessura)	1,34	7,58	1,35	7,58	1,41	8,31	min	cm
	1,48	7,58	1,49	7,87	1,53	8,31	min	cm
	2,18	7,58	2,19	8,16	2,23	7,72	min	cm
	2,48	7,29	2,49	7,87	2,53	8,31	min	cm
	3,18	7,87	3,19	7,87	3,23	7,72	min	cm
	3,48	7,87	3,49	7,58	3,53	7,72	min	cm
	4,18	6,70	4,19	7,58	4,23	7,72	min	cm
	4,48	6,70	4,49	7,58	4,53	7,72	min	cm
	5,18	6,41	5,19	7,00	5,23	3,85	min	cm
	5,48	3,21	5,49	6,70	5,53	4,15	min	cm
	6,18	3,21	6,19	6,41	6,23	4,15	min	cm

Na Figura 5.5 é visível a diferença do nível de água na cobertura.



(a) (b)

Figura 5.5 – Imagem da experiência 5.1 (a) ao 1,34 min, (b) aos 6,18 min

5.1.2. Experiências com corante

A não realização dos ensaios com durabilidade de 1 e 2 min tem a ver com a circunstância da colocação do corante ocorrer cerca de 5 s antes da entrada do sistema em pressão. Ora, como já se concluiu nos ensaios sem corante, os ensaios 1 e 2 não tinham a V2 aberta tempo suficiente para que o corante dissolvido na água fosse integralmente encaminhado para o R2. Assim, e com o objetivo de evitar que o corante desse entrada na zona do R1, o que prejudicaria todo o normal desenrolar das experiências, optou-se pela sua não realização.

As experiências foram realizadas determinando o instante em que o sistema entrava em pressão, e as alturas de água inicial e final em R2, com a vantagem de ser possível visualizar a mistura do corante com a água.

O visionamento das imagens vídeo permitiu, após a entrada em pressão, obter a altura de água na cobertura, em diversos momentos. Serviu, ainda, para confirmar os dados visualizados no local em relação à mistura do corante com a água, nomeadamente as suas diversas tonalidades desde o início até ao final da sua colocação e a velocidade do escoamento.

5.1.2.1 Duração de precipitação de 6 min

O ensaio 6 (constituído pelas experiências 6.1, 6.2 e 6.3) tem uma duração de funcionamento das válvulas de 2,50 min. Tal como se descrever nos ensaios sem recurso a corante, os primeiros 30 s são relativos ao processo de abertura da V2 e o fecho da V1, e os últimos 30 s são para o fecho da V2 e abertura da V1. Equivale isto dizer que a V2 apenas se encontra aberta cerca de 1,47 min, possibilitando, dessa forma, uma passagem de quantidade de água reduzida para o R2. Os resultados desta experiência encontram-se descritos nas Tabela 5.11 e Tabela 5.12.

Da Tabela 5.11 conclui-se que existe uma grande diferença entre o volume desviado e o volume armazenado, pois o tempo em que a V2 está aberta é, ainda, reduzido, tal como acontece no ensaio 3 sem recurso a corante.

Tabela 5.11 – Resultados do ensaio 6 por medições no local

Período de funcionamento das válvulas (min)			2,50	
Duração da precipitação (min)			6	
Medições				
	6.1	6.2	6.3	Unidades
$V_{precipitado,6\ min}$	1257,06	1257,06	1257,06	L
Intervalo de tempo em que a V2 está totalmente aberta	107,21	107,21	107,21	s
Altura de água residual (R2)	3	5	6,20	cm
Instante em que entra em pressão	57,27	57,58	55,36	s
Intervalo de tempo que fica em pressão	7,04	4,78	6,43	s
Instante de quebra de pressão	64,31	62,36	61,79	s
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	6,17	6,3	5,42	s
Altura de água final (R2)	34	36,70	38	cm
$V_{desviado}$	262,73	270,19	271,86	L
$V_{armazenado}$	994,33	986,86	985,20	L

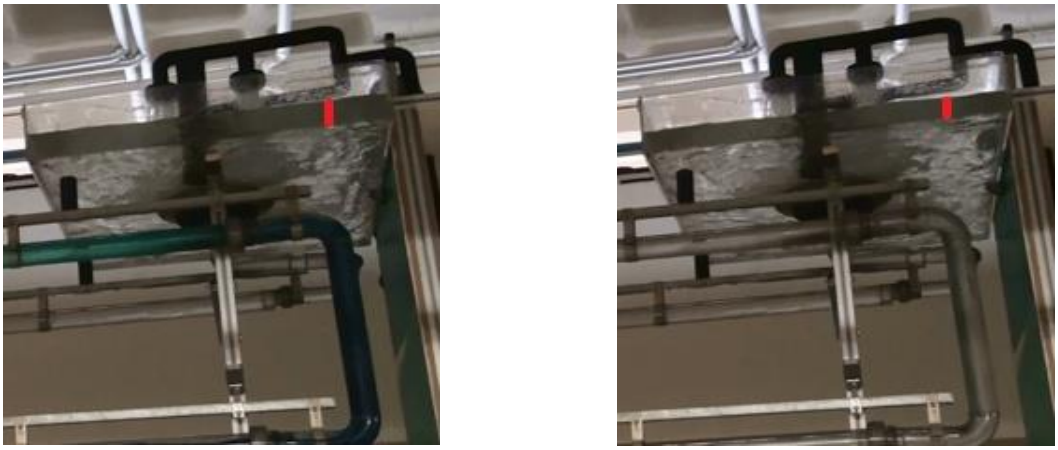
Tabela 5.12 – Resultados do ensaio 6 por visionamento das imagens vídeo

Filmagem								
	6.1		6.2		6.3		Unidades	
Instante em que entra em pressão	57		57		54		s	
Intervalo de tempo que fica em pressão	7		6		6		s	
Instante de quebra de pressão	64		63		60		s	
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	5		6		5		s	
Altura de água na cobertura quando entra em pressão (com espessura)	1,42	7,93	2,16	7,93	1,42	8,46	min	cm
	1,54	6,35	2,28	8,20	1,53	8,20	min	cm
	2,24	7,67	2,58	8,20	2,23	7,93	min	cm
	2,54	8,20	3,28	7,67	2,53	7,93	min	cm
	3,24	7,67	3,58	7,67	3,23	7,93	min	cm
	3,54	7,41	4,28	7,14	3,53	7,67	min	cm
	4,24	7,41	4,58	7,14	4,23	7,67	min	cm
	4,54	7,41	5,28	7,14	4,53	7,41	min	cm
	5,24	7,41	5,58	6,88	5,23	6,88	min	cm
	5,54	6,61	6,28	6,35	5,53	6,61	min	cm
	6,24	7,14	6,58	6,35	6,23	6,61	min	cm

De acordo com a Tabela 5.12, e em comparação com as 3 experiências, importa referir que na terceira, no momento em que o sistema entra em pressão, o nível de água na cobertura é bastante superior à verificada nas outras duas experiências. Este conjunto de experiências

segue o mesmo princípio já referido nos ensaios sem corante, ou seja: inicia-se com um determinado valor, de seguida aumenta durante 1/2 min, e depois vai descendo de nível até ao momento final, onde o valor verificado é sempre inferior ao valor do nível de água recolhido no momento em que o sistema entra em pressão.

Um exemplo visível da diferença de altura em diferentes momentos, na experiência 6.3 ocorre, precisamente, no momento imediatamente após a entrada do sistema em pressão e no final da precipitação. Na Figura 5.6 é visível essa diferença.



(a) (b)

Figura 5.6- Imagem da experiência 6.3 (a) ao 1,53 min, (b) aos 6,23 min

Relativamente à visualização do corante de azul-de-metileno pode ver-se, pela Figura 5.7, a forma como ele se dilui e mistura com a água. Numa primeira fase, apresenta uma cor azul leve, depois um azul bastante concentrado e termina com uma cor semelhante ao inicial.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.7- Imagem da experiência 6.3 (a) ao 1,48 min, (b) ao 1,52 min, (c) ao 1,54 min

O ensaio 7 (experiências 7.1, 7.2 e 7.3) tem uma duração de funcionamento das válvulas de 4,13 min, no decurso do que a V2 está totalmente aberta cerca de 3,11 min. Neste período de tempo já existe um encaminhamento de quantidade de água significativa para o R2. Contudo, ainda assim, obteve-se maior volume de água armazenada do que desviada. Este facto é comprovado na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Resultados experiência 7 por medições no local

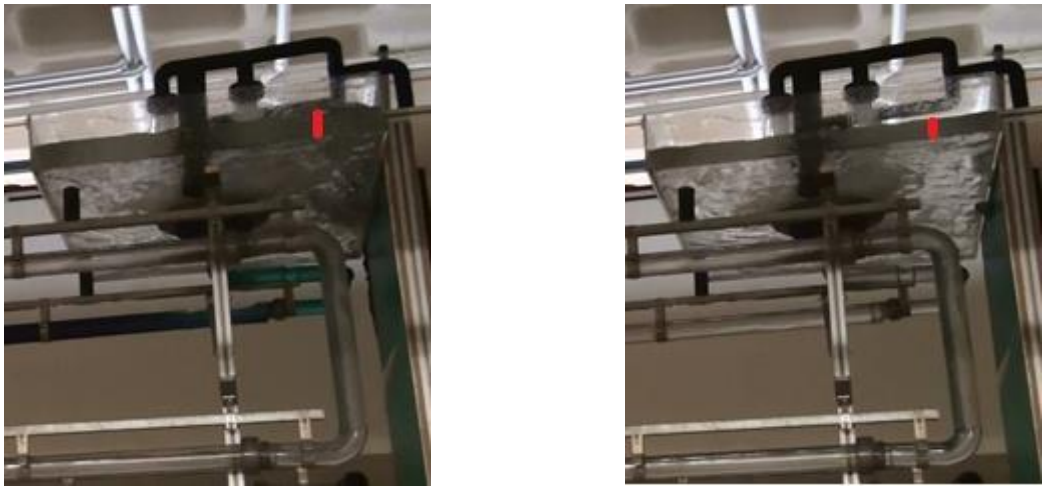
Período de funcionamento das válvulas (min)			4,13	
Duração da precipitação (min)			6	
Medições				
	7.1	7.2	7.3	Unidades
$V_{precipitado,6\ min}$	1257,06	1257,06	1257,06	L
Intervalo de tempo em que a V2 está totalmente aberta	191	191	191	s
Altura de água residual (R2)	5	7,80	6,70	cm
Instante em que entra em pressão	54,21	53,05	53,64	s
Intervalo de tempo que fica em pressão	5,09	6,89	6,65	s
Instante de quebra de pressão	59,30	59,94	60,29	s
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	6,16	7,37	5,32	s
Altura de água final (R2)	65,50	67,70	67	cm
$V_{desviado}$	533,86	531,69	534,11	L
$V_{armazenado}$	723,20	725,37	722,95	L

Tabela 5.14 – Resultados do ensaio 7 por visionamento das imagens vídeo

Filmagem								
	7.1		7.2		7.3		Unidades	
Instante em que entra em pressão	54		54		53		s	
Intervalo de tempo que fica em pressão	6		7		7		s	
Instante de quebra de pressão	60		61		60		s	
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	4		6		6		s	
Altura de água na cobertura quando entra em pressão (com espessura)	2,00	7,41	1,40	7,67	1,37	7,41	min	cm
	2,10	8,20	1,53	8,20	1,50	7,41	min	cm
	2,40	7,93	2,23	8,20	2,20	6,88	min	cm
	3,10	7,93	2,53	7,67	2,50	7,41	min	cm
	3,40	7,93	3,23	7,41	3,20	6,88	min	cm
	4,10	7,93	3,53	7,41	3,50	6,88	min	cm
	4,40	7,14	4,23	6,88	4,20	6,88	min	cm
	5,10	7,14	4,53	6,35	4,50	5,82	min	cm
	5,40	6,61	5,23	6,35	5,20	6,35	min	cm
	6,10	7,14	5,53	6,61	5,50	5,82	min	cm
	6,40	6,61	6,23	6,61	6,20	5,82	min	cm

De acordo com a Tabela 5.14, e ao contrário do que ocorreu nos outros ensaios, neste conjunto verifica-se que, no momento em que o sistema entra em pressão, não se verifica grande diferenciação na altura de água na cobertura nas três experiências. Tal como já foi

sucedendo, neste ensaio assiste-se à mesma regra de aumento e diminuição do nível de água na cobertura. Na Figura 5.8 é visível e notória essa diferença.



(a) (b)

Figura 5.8– Imagem da experiência 7.3 (a) ao 1,37 min, (b) aos 6,20 min

Por fim, o ensaio 8 (experiências 8.1, 8.2 e 8.3) tem uma duração de funcionamento das válvulas de 4,55 min, durante o que a V2 está totalmente aberta cerca de 3,51 min. Este período de tempo é, aproximadamente, dois terços do tempo de precipitação. A partir deste conjunto de experiências importa concluir que começa a haver maior quantidade de água desviada do que armazenada, resultante do menor tempo de abertura da V1. Nas Tabela 5.15 e Tabela 5.16 descrevem-se os resultados obtidos.

Tabela 5.15 – Resultados do ensaio 8 por medições no local

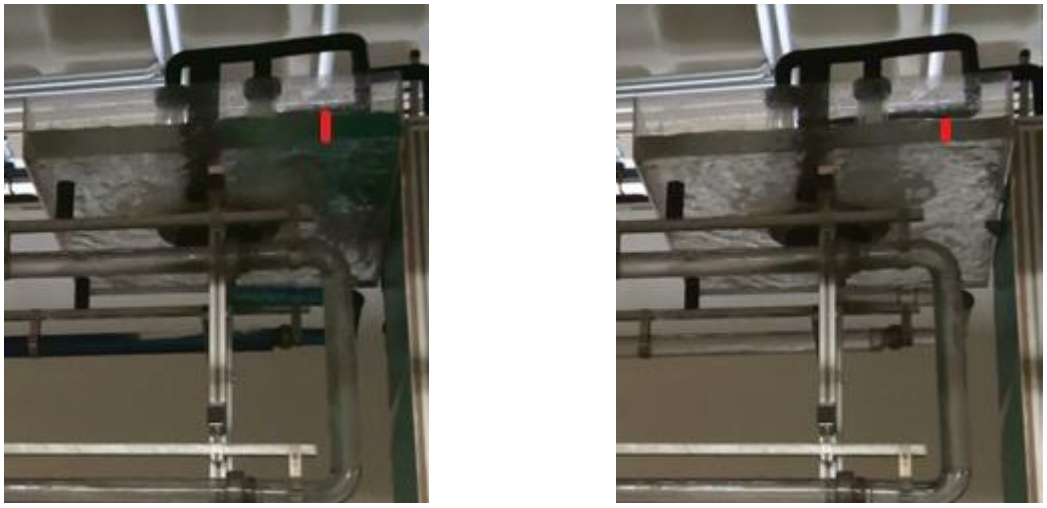
Período de funcionamento das válvulas (min)		4,55		
Duração da precipitação (min)		6		
Medições				
	8.1	8.2	8.3	Unidades
$V_{precipitado,6\ min}$	1257,06	1257,06	1257,06	L
Intervalo de tempo em que a V2 está totalmente aberta	231,65	231,65	231,65	s
Altura de água residual (R2)	3,20	7,40	7	cm
Instante em que entra em pressão	52,56	54,98	53,07	s
Intervalo de tempo que fica em pressão	7,38	5,55	9,05	s
Instante de quebra de pressão	59,94	60,53	62,12	s
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	6,18	7,13	6,91	s
Altura de água final (R2)	77,60	81,90	80,90	cm
$V_{desviado}$	664,68	672,24	665,73	L
$V_{armazenado}$	592,38	584,82	591,33	L

Tabela 5.16 – Resultados do ensaio 8 por visionamento das imagens vídeo

Filmagem								
	8.1		8.2		8.3		Unidades	
Instante em que entra em pressão	53		53		53		s	
Intervalo de tempo que fica em pressão	8		8		8		s	
Instante de quebra de pressão	61		61		61		s	
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	6		6		6		s	
Altura de água na cobertura quando entra em pressão (com espessura)	1,35	7,93	1,38	8,99	1,36	7,14	min	cm
	1,49	7,67	1,52	8,46	1,50	7,41	min	cm
	2,19	7,67	2,22	8,46	2,20	7,41	min	cm
	2,49	7,67	2,52	8,20	2,50	7,41	min	cm
	3,19	7,41	3,22	7,41	3,20	7,41	min	cm
	3,49	7,41	3,52	7,41	3,50	6,88	min	cm
	4,19	7,14	4,22	7,41	4,20	6,88	min	cm
	4,49	7,14	4,52	7,41	4,50	6,88	min	cm
	5,19	7,14	5,22	6,88	5,20	6,35	min	cm
	5,49	6,88	5,52	6,35	5,50	6,08	min	cm
	6,19	6,08	6,22	6,35	6,20	5,82	min	cm

Como se extrai da Tabela 5.16, na experiência 8.3, no momento em que o sistema entra em pressão, a altura de água na cobertura é bastante inferior à verificada nas outras duas experiências no mesmo instante.

Exemplo visível da diferença de altura em diferentes momentos, na experiência 8.2, é-nos dado quando analisamos o momento imediatamente após o sistema entrar em pressão e o final da precipitação. Na Figura 5.9 apresentam-se essa diferença.



(a) (b)

Figura 5.9 - Imagem da experiência 8.2 (a) ao 1,38 min, (b) aos 6,22 min

5.1.2.2 Duração de precipitação de 5 min

O ensaio 9 (conjunto de experiências 9.1, 9.2 e 9.3) tem uma duração de funcionamento das válvulas de 3,04 min. Tal como se descreve nos ensaios sem recurso a corante, os primeiros 30 s são relativos ao processo de abertura da V2 e o fecho da V1, e os últimos 30 s são para o fecho da V2 e abertura da V1. Equivale isto dizer que a V2 apenas se encontra aberta cerca de 1,57 min, possibilitando, dessa forma, uma passagem de quantidade de água reduzida para o R2. Os resultados deste ensaio encontram-se descritos nas Tabela 5.17 e Tabela 5.18.

Tabela 5.17 – Resultados do ensaio 9 por medições no local

Período de funcionamento das válvulas (min)			3,04	
Duração da precipitação (min)			5	
Medições				
	9.1	9.2	9.3	Unidades
$V_{precipitado,5\ min}$	1047,55	1047,55	1047,55	L
Intervalo de tempo em que a V2 está totalmente aberta	117,71	117,71	117,71	s
Altura de água residual (R2)	4,10	7,50	6,40	cm
Instante em que entra em pressão	55,21	54,78	53,37	s
Intervalo de tempo que fica em pressão	4,22	4,31	6,39	s
Instante de quebra de pressão	59,43	59,09	59,76	s
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	6,20	6,28	7,39	s
Altura de água final (R2)	39,80	42,70	40,90	cm
$V_{desviado}$	305,10	303,11	296,05	L
$V_{armazenado}$	742,45	744,44	751,50	L

O caudal debitado é de 209,51 $Lmin^{-1}$. Porém, como neste caso a duração de precipitação foi de 5 min, o volume debitado durante todo o ensaio é de 1047,55 L.

Da Tabela 5.17 conclui-se que existe uma grande diferença entre o volume desviado e o volume armazenado, pois o tempo em que a V2 está aberta é reduzido.

De acordo com a Tabela 5.18, e em comparação com as 3 experiências, importa referir que na primeira, no momento em que o sistema entra em pressão, o nível de água na cobertura é bastante superior à verificada nas outras duas experiências.

Tabela 5.18 – Resultados do ensaio 9 por visionamento das imagens vídeo

Filmagem								
	9.1		9.2		9.3		Unidades	
Instante em que entra em pressão	53		55		53		s	
Intervalo de tempo que fica em pressão	5		5		6		s	
Instante de quebra de pressão	58		60		59		s	
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	6		5		7		s	
Altura de água na cobertura quando entra em pressão (com espessura)	1,34	8,23	1,37	6,86	1,35	7,13	min	cm
	1,45	9,05	1,47	6,86	1,48	7,13	min	cm
	2,15	8,50	2,17	6,86	2,18	7,13	min	cm
	2,45	8,23	2,47	7,41	2,48	7,13	min	cm
	3,15	7,96	3,17	7,41	3,18	7,13	min	cm
	3,45	8,23	3,47	7,41	3,48	6,58	min	cm
	4,15	7,96	4,17	7,41	4,18	7,13	min	cm

O ensaio 10 (experiências 10.1, 10.2 e 10.3) tem uma duração de funcionamento das válvulas de 3,55 min, no decurso do que a V2 está totalmente aberta cerca de 2,53 min. Neste período de tempo já existe um encaminhamento de quantidade de água significativa para o R2. Contudo, ainda assim, obteve-se maior volume de água armazenada do que desviada. Este facto é comprovado na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 – Resultados do ensaio 10 por medições no local

Período de funcionamento das válvulas (min)	3,55			
Duração da precipitação (min)	5			
Medições				
	10.1	10.2	10.3	Unidades
$V_{precipitado,5\ min}$	1047,55	1047,55	1047,55	L
Intervalo de tempo em que a V2 está totalmente aberta	173,25	173,25	173,25	s
Altura de água residual (R2)	4,10	4,30	5,30	cm
Instante em que entra em pressão	56,44	55,59	54,42	s
Intervalo de tempo que fica em pressão	6,35	5,30	5,30	s
Instante de quebra de pressão	62,79	60,89	59,73	s
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	6,41	5,23	5,79	s
Altura de água final (R2)	59	58,40	59,50	cm
$V_{desviado}$	480,18	472,95	475,01	L
$V_{armazenado}$	567,37	574,60	572,54	L

De acordo com a Tabela 5.20, e em comparação com as 3 experiências, importa referir que na segunda, no momento em que o sistema entra em pressão, o nível de água na cobertura é bastante superior à verificada nas outras duas experiências. Tal como já foi sucedendo, neste ensaio assiste-se à mesma regra de aumento e diminuição do nível de água na cobertura.

Tabela 5.20 – Resultados do ensaio 10 por visionamento das imagens vídeo

Filmagem								
	10.1		10.2		10.3		Unidades	
Instante em que entra em pressão	56		54		51		s	
Intervalo de tempo que fica em pressão	7		6		6		s	
Instante de quebra de pressão	63		60		57		s	
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	7		6		6		s	
Altura de água na cobertura quando entra em pressão (com espessura)	1,41	7,41	1,36	8,51	1,33	7,13	min	cm
	1,55	7,41	1,48	8,23	1,45	7,68	min	cm
	2,25	8,23	2,18	7,96	2,15	7,68	min	cm
	2,55	7,68	2,48	7,96	2,45	7,41	min	cm
	3,25	7,13	3,18	7,41	3,15	7,41	min	cm
	3,55	7,13	3,48	7,68	3,45	7,41	min	cm
	4,25	6,86	4,18	7,41	4,15	7,13	min	cm
	4,55	6,86	4,48	6,86	4,45	7,13	min	cm

5.1.2.3 Duração de precipitação de 4 min

O ensaio 11 (experiências 11.1, 11.2 e 11.3) tem uma duração de funcionamento das válvulas de 3,04 min. Tal como se descrever nas experiências anteriores, os primeiros 30 s são relativos ao processo de abertura da V2 e o fecho da V1, e os últimos 30 s são para o fecho da V2 e abertura da V1. Equivale isto dizer que a V2 apenas se encontra aberta cerca de 1,57 min, possibilitando, dessa forma, uma passagem de quantidade de água reduzida para o R2. Os resultados deste ensaio encontram-se descritos nas Tabela 5.21 e Tabela 5.22.

Tal com já foi referido, o caudal debitado tem o valor de 209,51 $Lmin^{-1}$. Contudo, neste caso a duração de precipitação foi de 4 min, sendo o volume debitado durante todo o ensaio de 838,04 L.

Tabela 5.21 – Resultados do ensaio 11 por medições no local

Período de funcionamento das válvulas (min)			3,04	
Duração da precipitação (min)			4	
Medições				
	6.1	6.2	6.3	Unidades
$V_{precipitado,4\ min}$	838,04	838,04	838,04	L
Intervalo de tempo em que a V2 está totalmente aberta	117,71	117,71	117,71	s
Altura de água residual (R2)	9	4,50	5	cm
Instante em que entra em pressão	54,1	54,49	53,79	s
Intervalo de tempo que fica em pressão	5,72	4,49	5	s
Instante de quebra de pressão	59,82	58,98	58,79	s
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	6,76	6,70	8,36	s
Altura de água final (R2)	43,50	39	40,50	cm
$V_{desviado}$	297,90	294,70	303,98	L
$V_{armazenado}$	540,14	543,34	534,06	L

Da Tabela 5.21 conclui-se que existe uma diferença significativa entre o volume desviado e o volume armazenado, pois o tempo em que a V2 está aberta é reduzido, tal como aconteceu no ensaio 9.

Tabela 5.22 – Resultados do ensaio 11 por visionamento das imagens vídeo

Filmagem								
	11.1		11.2		11.3		Unidades	
Instante em que entra em pressão	56		54		53		s	
Intervalo de tempo que fica em pressão	5		6		7		s	
Instante de quebra de pressão	61		60		60		s	
Intervalo de tempo para entrar em pressão contínua até ao final	6		6		6		s	
Altura de água na cobertura quando entra em pressão (com espessura)	1,38	7,41	1,35	7,68	1,35	7,68	min	cm
	1,49	7,41	1,47	7,68	1,48	7,68	min	cm
	2,19	7,41	2,17	8,50	2,18	7,96	min	cm
	2,49	7,13	2,47	8,50	2,48	7,41	min	cm
	3,19	7,41	3,17	7,96	3,18	7,41	min	cm
	3,49	6,86	3,47	7,41	3,48	7,41	min	cm
	4,19	7,13	4,17	7,41	4,18	7,41	min	cm

De acordo com a Tabela 5.22 verifica-se que, no momento em que o sistema entra em pressão, não se verifica grande diferenciação na altura de água na cobertura nas três

experiências. Este ensaio segue o mesmo princípio de subida e descida do nível de água na cobertura já referido nos anteriores ensaios.

5.2. Análise de resultados

Apresenta-se de seguida a análise pormenorizada dos resultados.

5.2.1. Precipitação caída na cobertura

O modelo experimental utilizado apresenta um caudal debitado de 209,51 $Lmin^{-1}$, numa área de cobertura de 1,2 m^2.

De acordo com a expressão Q=CIA, o coeficiente de escoamento normalmente adotado para coberturas e terraços é de 1, a intensidade de precipitação (I) considerada é de 1,75 $L.(min.m^2)^{-1}$.

$$Q = C \times I \times A\ (=)\ A = \frac{Q}{C \times I} \qquad (5.8)$$

Assim, utilizando a expressão 5.8 e sendo o caudal de cálculo de valor 209,51 $Lmin^{-1}$, tem-se uma área de 119,72 m^2.

Por outro lado, de acordo com a ETA 0701 o coeficiente de escoamento normalmente adotado para coberturas impermeáveis é de 0,8, a intensidade de precipitação (I) considerada é a mesma considerada em cima (1,75 $L.(min.m^2)^{-1}$). Utilizando a mesma expressão (expressão 5.8), e sabendo-se que o caudal de cálculo é de 209,51 $Lmin^{-1}$, retira-se que a área é igual a 149,65 m^2.

Ora, como facilmente se pode constatar, as habitações unifamiliares apresentam áreas de cobertura semelhantes. Porém, os elementos e dados recolhidos são meramente indicativos para correlacionar com a realidade.

É sabido, ainda, e como determina a ETA 0701, deve proceder-se à eliminação de 2 mm de precipitação inicial por m^2. Pela expressão 5.9 calcula-se que o volume desviado para uma área de cobertura de 149,65 m^2, e para que ocorre-se uma eliminação de 2 mm de precipitação inicial por m^2 seria de 299,30 L.

$$V_{desviado} = P \times A \quad (5.9)$$

Contudo, esta poderá não ser a recomendação mais acertada.

Os dados experimentais recolhidos e retratados na Tabela 5.23 permitem uma análise da precipitação.

Tabela 5.23 – Precipitação inicial nos ensaios sem e com corante

Ensaio	Período de funcionamento das válvulas (min)	Intervalo de tempo em que a V2 está totalmente aberta (min)	Vd (L)	A (m^2)	P (mm)
1	1	0,02	2,46	149,65	0,02
2	2,02	1,00	118,70	149,65	0,79
3	2,57	1,53	282,10	149,65	1,89
4	4	2,58	496,20	149,65	3,32
5	5,06	4,05	703	149,65	4,70
6	2,50	1,79	268,26	149,65	1,79
7	4,13	3,11	533,22	149,65	3,56
8	4,55	3,52	667,55	149,65	4,46
9	3,04	1,58	301,42	149,65	2,01
10	3,55	2,53	476,04	149,65	3,18
11	3,04	1,58	298,86	149,65	2

Da Tabela 5.23 conclui-se que o valor de precipitação calculado para os ensaios 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 mais não fazem do que confirmar os valores delimitados e definidos na ETA 0701 (“a altura de precipitação pré-estabelecida, que poderá variar entre 0,5 e 8,5 mm, conforme as condições locais”). O ensaio 1 corresponde a um intervalo de funcionamento das válvulas muito pequeno, sendo o volume desviado muito baixo, razão pela qual esta configuração foi eliminada à partida.

Os valores obtidos analisam-se em conjuntos de ensaios com a mesma duração de precipitação, ou seja:

- entre os ensaios 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8, com duração de precipitação de 6 min, afigura-se recomendável e aconselhável a opção pelo ensaio 2, na medida em que é aquela que apresenta maior eficiência no que se refere ao volume desviado e armazenado;
- entre os ensaios 9 e 10, com duração de precipitação de 5 min, afigura-se recomendável e aconselhável a opção pelo ensaio 9, pelos mesmos motivos referidos anteriormente.

Previamente ao início das experiências houve a necessidade de analisar toda a instalação de forma a evitar erros e eventuais falhas no sistema. Dessa atividade constatou-se que a instalação presente não tem correspondência perfeita com a realidade. Para comprovar tal constatação bastará recordar o sucedido relativamente ao ensaio 1, ou seja, quando o funcionamento das válvulas é de 1 min e a V2 permanece aberta apenas 1 s, toda a água, após o início da precipitação, é direcionada para o R1. Daqui se conclui que nesta modalidade de funcionamento não ocorreu qualquer desvio de água, situação que na realidade não sucede. Efetivamente, neste tipo de sistemas, logo que ocorre precipitação, as primeiras águas são excluídas e não armazenadas. Neste ponto constatou-se uma falha de eficácia no sistema laboratorial.

Neste trabalho analisaram-se 3 pontos: a relação entre tempo e volume, a relação entre tempo e nível de água na cobertura, e o visionamento da mistura água-corante (azul-de-metileno).

5.2.2. Relação entre tempo e volume

Com o objetivo de descrever o funcionamento hidráulico do dispositivo *first-flush* analisou-se a relação entre o instante temporal e o volume desviado e armazenado ao longo do intervalo de tempo em que a V2 está aberta.

5.2.2.1 Volume desviado

Na Figura 5.10 está representado o gráfico tempo-volume desviado de todos os ensaios.

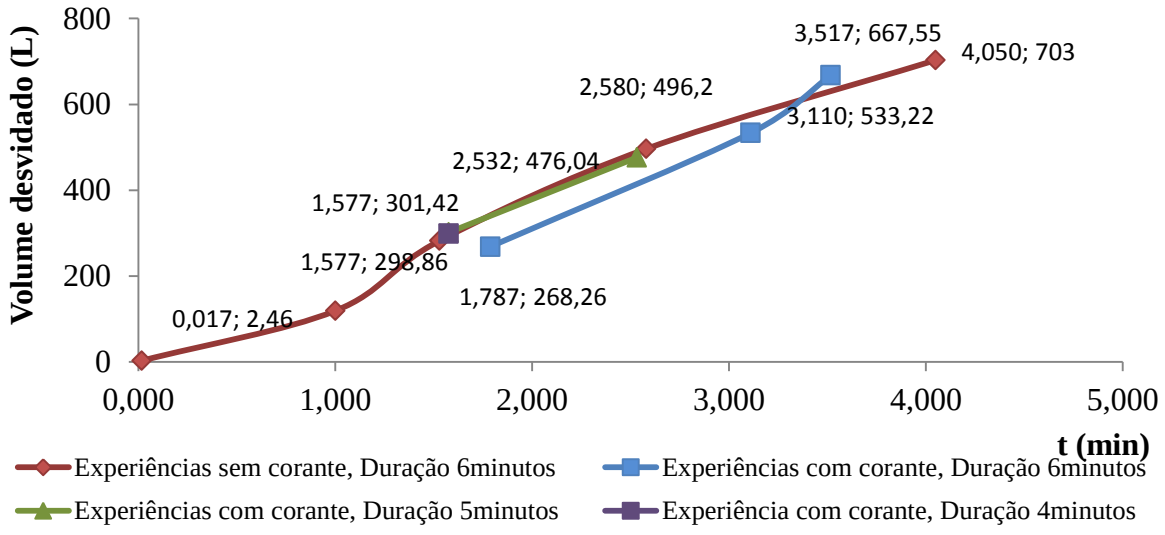


Figura 5.10- Tempo/Volume desviado de todos os ensaios

5.2.2.2 Volume armazenado

Na Figura 5.11 está representado o gráfico tempo-volume armazenado de todos os ensaios.

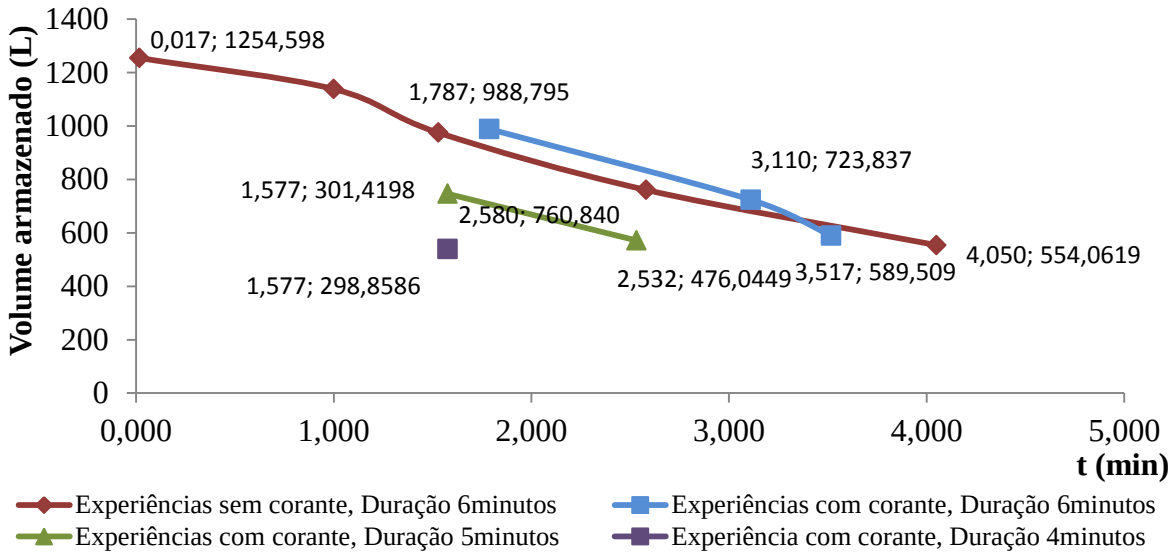


Figura 5.11 - Tempo/Volume armazenado de todos os ensaios

5.2.2.3 Volume desviado e armazenado

Na Figura 5.12 está representado o gráfico tempo-volume desviado e armazenado de todos os ensaios.

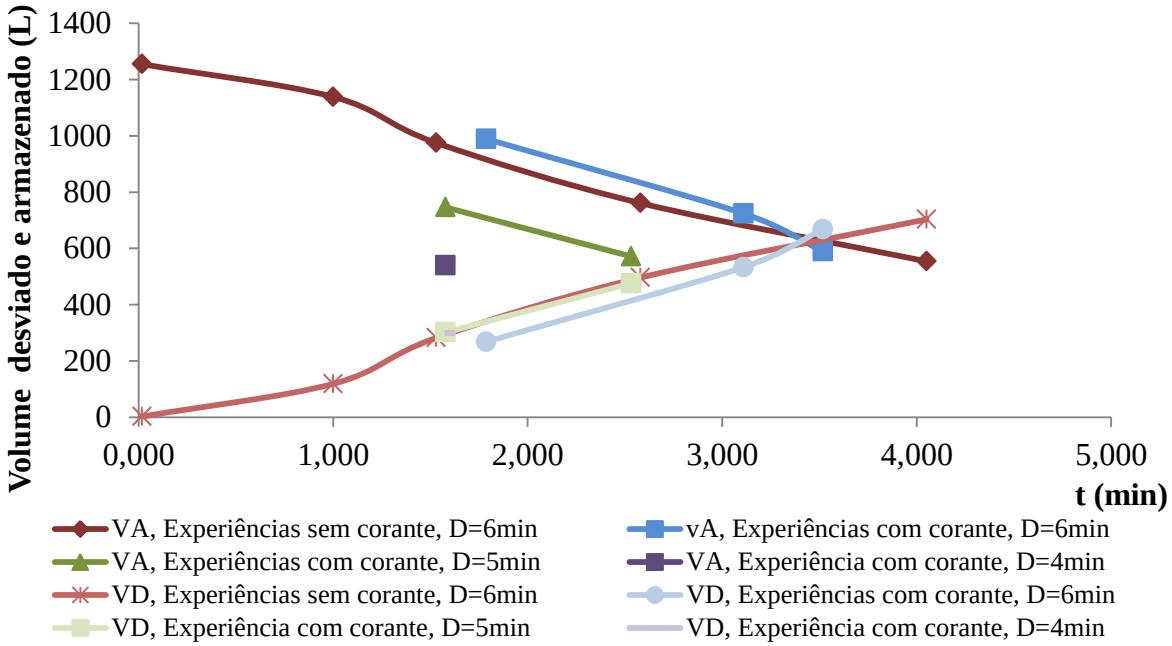


Figura 5.12 – Tempo/Volume desviado e armazenado de todos os ensaios

Da Figura 5.12 observa-se que quanto maior for o tempo de abertura da V2, que é tanto maior quanto maior for o tempo de funcionamento das válvulas, maior será a quantidade de água desviada e menor será a quantidade de água armazenada.

Analisando-se os ensaios sem corante, conclui-se que, a partir dos 2 min e 35 s de abertura da V2, a diferença de volumes de água no R1 e R2 não é muito relevante, quando comparado com o período de tempo anterior. Aos 3 min e 18 s o volume armazenado e o volume desviado são iguais com o valor de, aproximadamente, 630 L. Abaixo desse tempo há maior volume de água armazenado, acima desse tempo é maior o volume de água desviado. Como o objetivo real é aumentar a água armazenada e diminuir a água desviada, desde que se cumpram os requisitos de qualidade, o tempo recomendado para utilização e eficiência do sistema obter-se-á abaixo, aproximadamente, dos 3 min e 18 s.

Já analisando os ensaios com corante, com duração de precipitação de 6 min, conclui-se que aos 3 min e 24 s, o volume armazenado e o volume desviado são iguais, com o valor de, aproximadamente, 630 L. Abaixo desse tempo, obtemos maior volume armazenado e acima desse tempo maior volume desviado. Como o objetivo real é aumentar a água armazenada e diminuir a água desviada desde que se cumpra os requisitos de qualidade, o tempo recomendado para utilização e eficiência do sistema terá de ser inferior aos 3 min e 24 s.

Esta pequena diferença de tempos entre os ensaios sem e com corante deve-se ao facto do período de funcionamento das válvulas ser diferente. Para o suposto intervalo de funcionamento de válvulas de 3 min, o ensaio sem corante tem um período de 2,57 min, enquanto que o ensaio com corante é de 2,50 min. Tal diferença fica a dever-se à dificuldade de estabelecer o mesmo período de tempo no respetivo quadro elétrico.

Nos ensaios com corante, com duração de precipitação de 5 min, não se alcançaram iguais valores de volumes desviado e armazenado, na medida em que apenas se analisaram dois períodos de tempo. Comparado com os ensaios com corante de duração superior conclui-se que o volume desviado é semelhante. Porém, o volume armazenado é menor devido ao menor tempo de precipitação tornando-se, assim, menos vantajoso.

5.2.3. Relação entre tempo e altura de água na cobertura

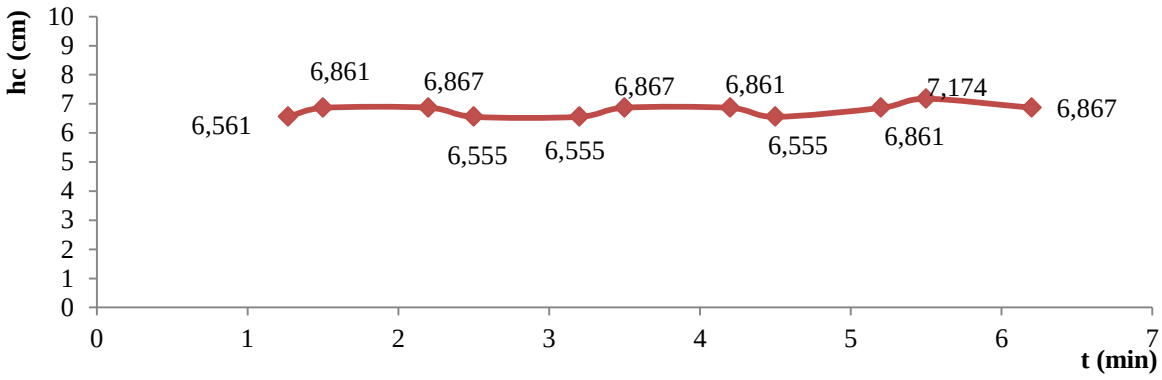
Para uma melhor perceção da realidade decidiu-se visionar e quantificar o nível de água na cobertura e as suas variações ao longo do tempo após a entrada do sistema em pressão.

Inicialmente, sem qualquer visualização e apenas percebendo o funcionamento do sistema pelo estudo teórico, achava-se que o nível de água iria permanecer constante após o escoamento entrar em pressão.

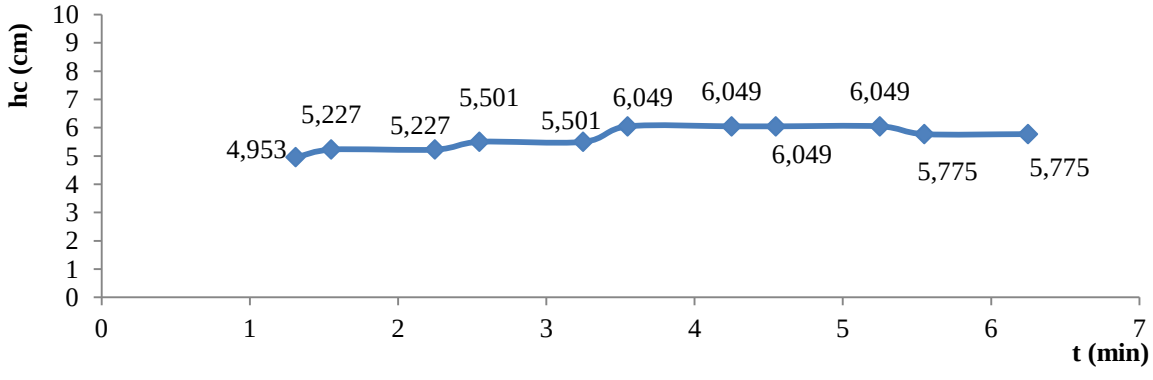
Os dados relativos a este parâmetro (altura de água na cobertura) foram retirados das imagens vídeo através do *software* ImageJ. A altura de água é fornecida sem a espessura da base da cobertura.

5.2.3.1 Experiências sem corante

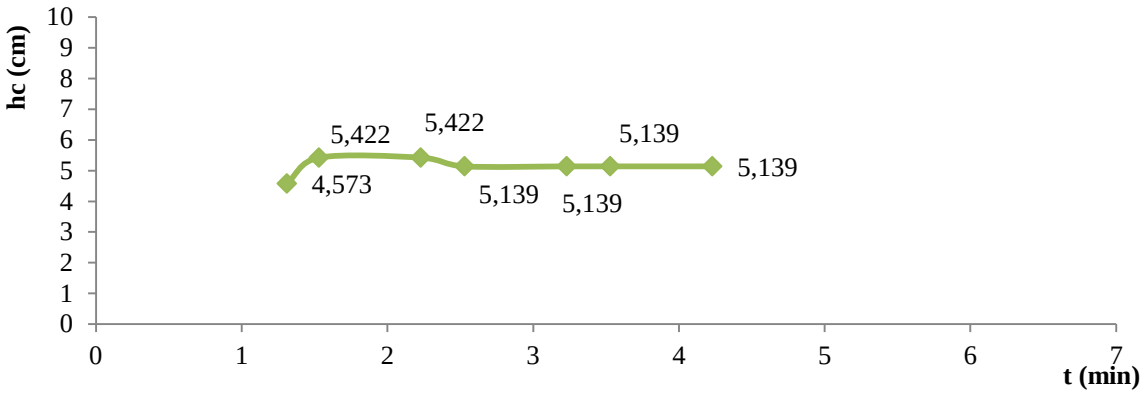
Na Figura 5.13 estão representados os gráficos tempo-altura de água na cobertura das várias experiências do ensaio 1.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.13 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 1.1, (b) 1.2, (c) 1.3

Na experiência 1.1 (Figura 5.13a), constata-se que a altura de água na cobertura ao longo do tempo é um pouco inconstante, mas sem grandes diferenças. A diferença máxima de alturas é de apenas 0,61 cm (=7,17-6,56), o que equivale a uma diferença de volume de 7,32 L (=120x100x0,61x10^{-3}).

Nos min iniciais, após a entrada do sistema em pressão, o nível da água eleva-se, após o que ocorre uma quebra durante cerca de 1 min, voltando, de seguida, aos níveis da primeira fase. Tal constatação demonstra o contrário daquilo que se pensava inicialmente, pois o nível da água não é constante.

Na experiência 1.2 (Figura 5.13b) já difere da experiência 1.1, na medida em que os valores dos níveis de água são mais uniformes, com uma subida até aos 5,30 min e depois volta a diminuir. Contudo, em termos de altura máxima e mínima de água, ela é superior ao da experiência 1.1, onde a diferença máxima de alturas é de 1,1 cm (=6,05-4,95), o que equivale a uma diferença de volume de 13,15 L (=120x100x1,1x10^{-3}). Nesta experiência verificou-se, ainda, que o último ponto medido, com a altura de 5,78 cm, é superior ao valor inicial (4,95 cm).

Na experiência 1.3 (Figura 5.13c), um problema técnico com a máquina de filmar não permitiu a obtenção da mesma quantidade de dados que nas restantes experiências. Contudo, pode concluir-se que os valores dos níveis de água são, também, uniformes, apenas ocorrendo

uma única subida na fase inicial, após o que se torna constante até ao minuto 4,23. A partir desse tempo não há dados recolhidos.

Em relação à diferença máxima de alturas obteve-se um valor de 0,85 cm (=5,42-4,57), o que equivale a uma diferença de volume de 10,19 L (=120x100x0,85x10^{-3}). Porém, devido ao problema técnico ocorrido desconhece-se se a altura referida foi a máxima obtida em face da inexistência dos restantes pontos.

Na Figura 5.14 está representado o gráfico geral tempo-altura de água na cobertura do ensaio 1.

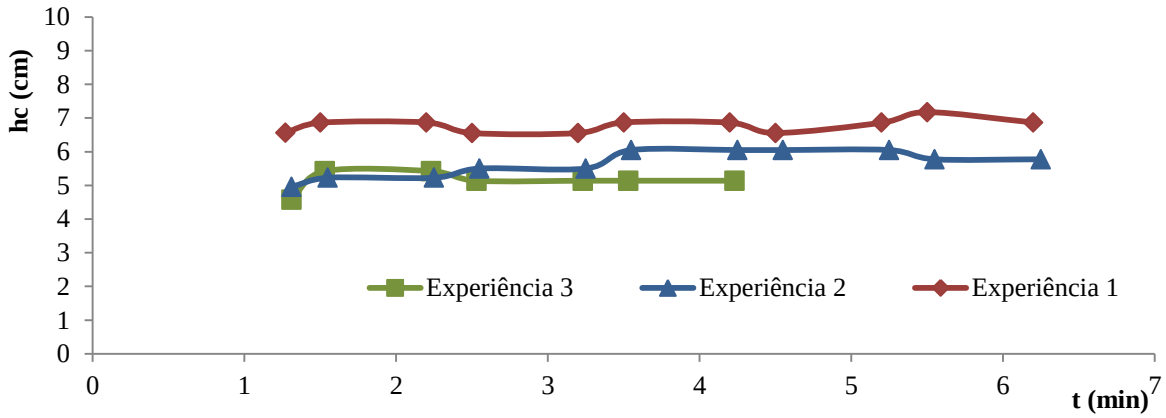


Figura 5.14 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 1

De acordo com as conclusões retiradas em cada um dos gráficos e de acordo com a Figura 5.14, na experiência 1.1 constata-se a existência de maiores alturas de água. Porém, a diferença de volume entre a altura máxima e mínima é menor do que nas restantes experiências.

Para os seguintes ensaios apenas se apresenta um breve resumo das três experiências e o gráfico geral. No Anexo III – Relação entre tempo e altura de água na cobertura apresenta-se em pormenor o gráfico de cada um dos ensaios.

Na Tabela 5.24 apresenta-se o resumo das experiências do ensaio 2.

Tabela 5.24 – Resumo das experiências do ensaio 2

Experiência	Diferença máxima de alturas (cm)	Diferença de volume (L)
2.1	0,74	8,83
2.2	2,87	34,45
2.3	1,83	21,92

Na Figura 5.15 está representado o gráfico geral tempo-altura de água na cobertura do ensaio 2.

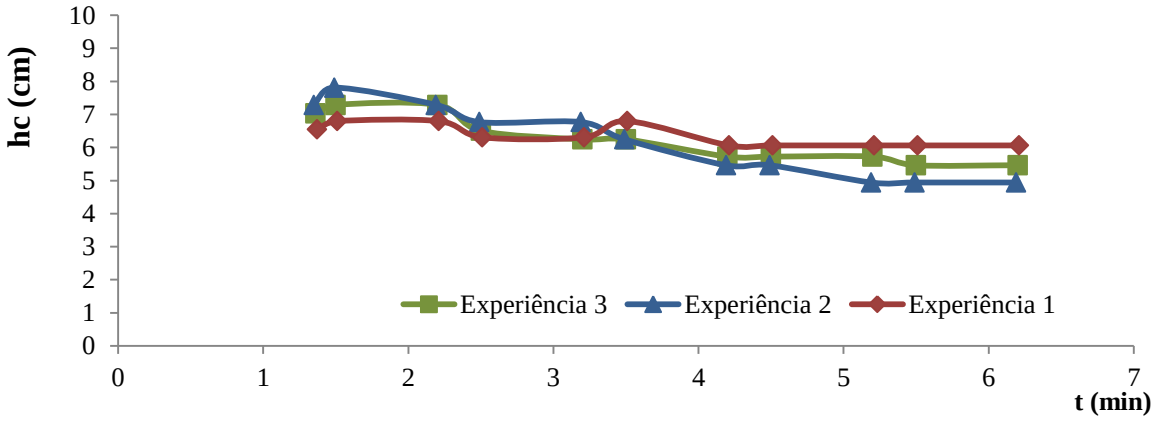


Figura 5.15 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 2

De acordo com a Figura 5.15, verifica-se níveis de água muito semelhantes nas experiências realizadas, sendo certo que a diferença entre os valores máximo e mínimo e as diferenças de volumes que esses valores transpõem são distintos. A experiência 2.1 apresenta menor discrepância de valores e, por isso, menor diferença de volume, com um valor reduzido, em relação às restantes experiências.

Na Tabela 5.25 apresenta-se o resumo das experiências do ensaio 3.

Tabela 5.25 – Resumo das experiências do ensaio 3

Experiência	Diferença máxima de alturas (cm)	Diferença de volume (L)
3.1	1,42	16,98
3.2	3,06	36,68
3.3	2,22	26,68

Na Figura 5.16 está representado o gráfico geral tempo-altura de água na cobertura do ensaio 3.

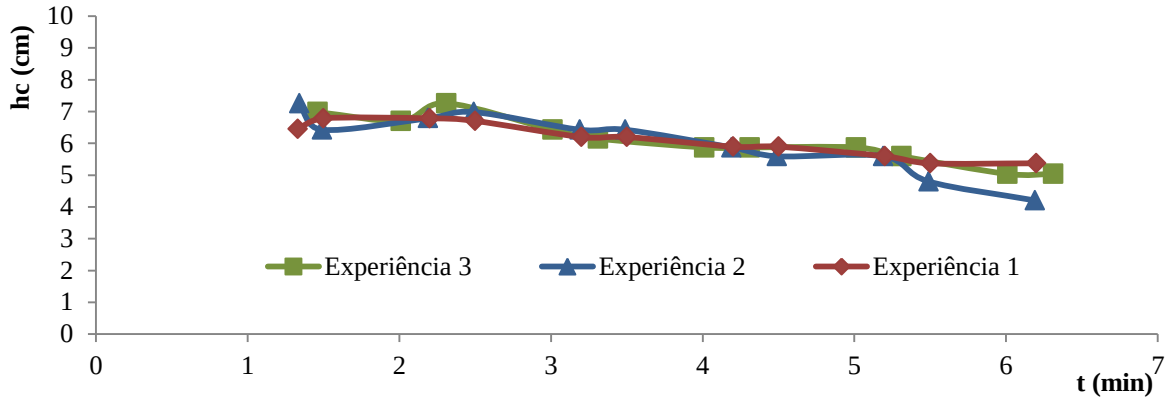


Figura 5.16 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 3

De acordo com os dados retratados da Tabela 5.25 e de acordo com a Figura 5.16, as experiências revelam grandes diferenças de volume, o que significa que há diferenças consideráveis de valores de nível de água máximo e mínimo. A experiência 3.1 tem menor diferença de volume, e a experiência 3.2 foi o que apresentou maior diferença de volume.

Na Tabela 5.26 apresenta-se o resumo das experiências do ensaio 4.

Tabela 5.26 – Resumo das experiências do ensaio 4

Experiência	Diferença máxima de alturas (cm)	Diferença de volume (L)
4.1	1,72	20,64
4.2	1,48	17,76
4.3	0,88	10,50

Na Figura 5.17 está representado o gráfico geral tempo-altura de água na cobertura do ensaio 4.

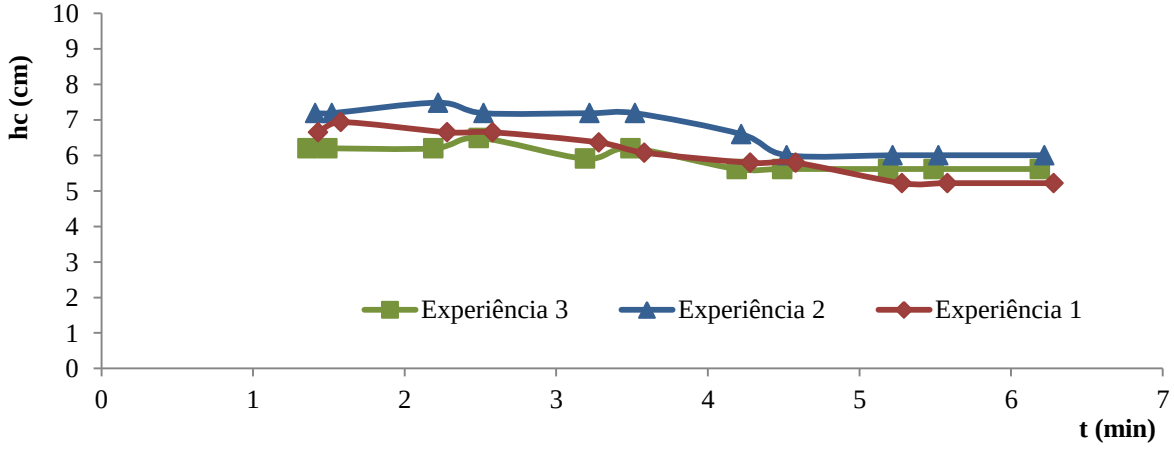


Figura 5.17 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 4

De acordo com a Figura 5.17, a experiência 4.2 é aquela que tem maiores níveis de água na cobertura. A experiência 4.3, apesar da sua inconstância, é o que apresenta menor diferença de volume.

Na Tabela 5.27 apresenta-se o resumo das experiências do ensaio 5.

Tabela 5.27 – Resumo das experiências do ensaio 5

Experiência	Diferença máxima de alturas (cm)	Diferença de volume (L)
5.1	4,66	55,96
5.2	1,75	20,99
5.3	4,15	49,85

Na Figura 5.18 está representado o gráfico geral tempo-altura de água na cobertura do ensaio 5.

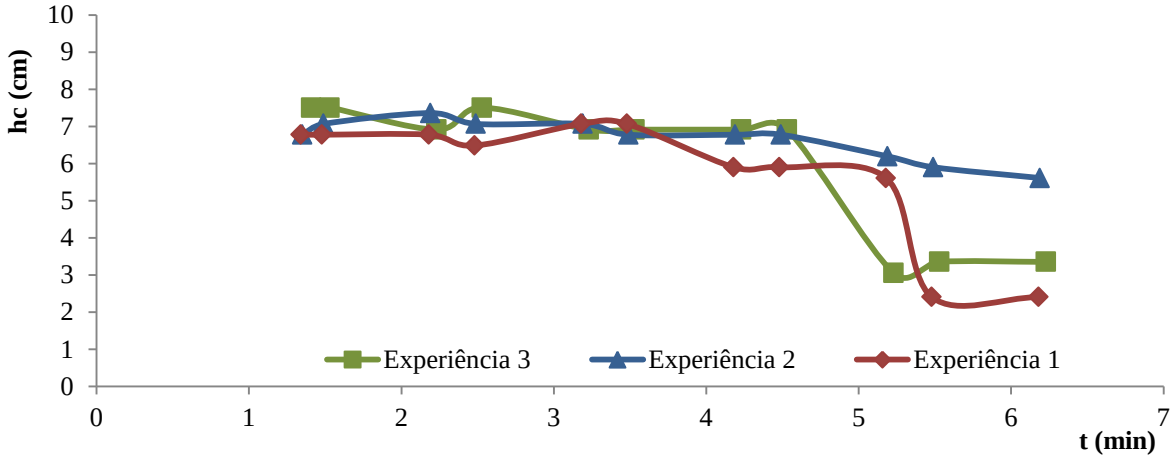


Figura 5.18 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 5

Como se constata da Figura 5.18, neste conjunto de experiências ocorreu, em dois deles, uma diminuição muito grande do nível da água na cobertura. Nas experiências 5.1 e 5.3, ocorreu uma quebra de fornecimento de água dos chuveiros, o que se ficou a dever à circunstância de se ter atingido valores abaixo do nível de água mínimo admissível no R1. Tal situação provocou o funcionamento irregular da bomba de água. Daí a enorme diferença de volumes verificada.

5.2.3.2 Experiências com corante

Na Tabela 5.28 apresenta-se o resumo das experiências do ensaio 6.

Tabela 5.28 – Resumo das experiências do ensaio 6

Experiência	Diferença máxima de alturas (cm)	Diferença de volume (L)
6.1	1,85	22,21
6.2	1,85	22,21
6.3	1,85	22,21

Na Figura 5.19 está representado o gráfico geral tempo-altura de água na cobertura do ensaio 6.

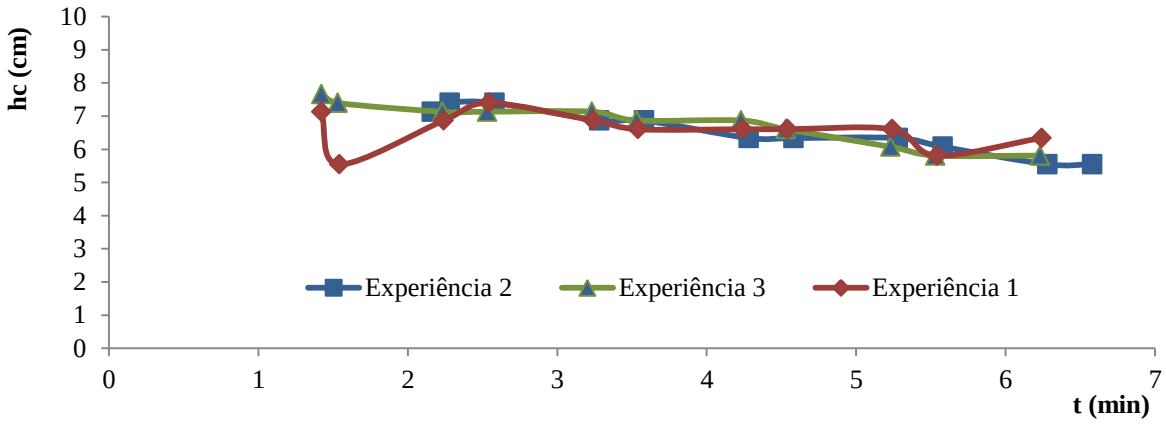


Figura 5.19 - Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 6

Como resulta da Figura 5.19, nestas experiência, apesar de todos elas apresentarem diferentes alturas iniciais, intermédios e finais, todos têm a mesma diferença de volume. Atenta a homogeneidade obtida, e considerando que o objetivo de realizar as 3 experiências era diminuir, precisamente, a incerteza e o erro, neste ensaio constatou-se que essa margem de erro e incerteza foi praticamente nula.

Na Tabela 5.29 apresenta-se o resumo das experiências do ensaio 7.

Tabela 5.29 - Resumo das experiências do ensaio 7

Experiência	Diferença máxima de alturas (cm)	Diferença de volume (L)
7.1	1,59	19,04
7.2	1,85	22,21
7.3	1,59	19,04

Na Figura 5.20 está representado o gráfico geral tempo-altura de água na cobertura do ensaio 7.

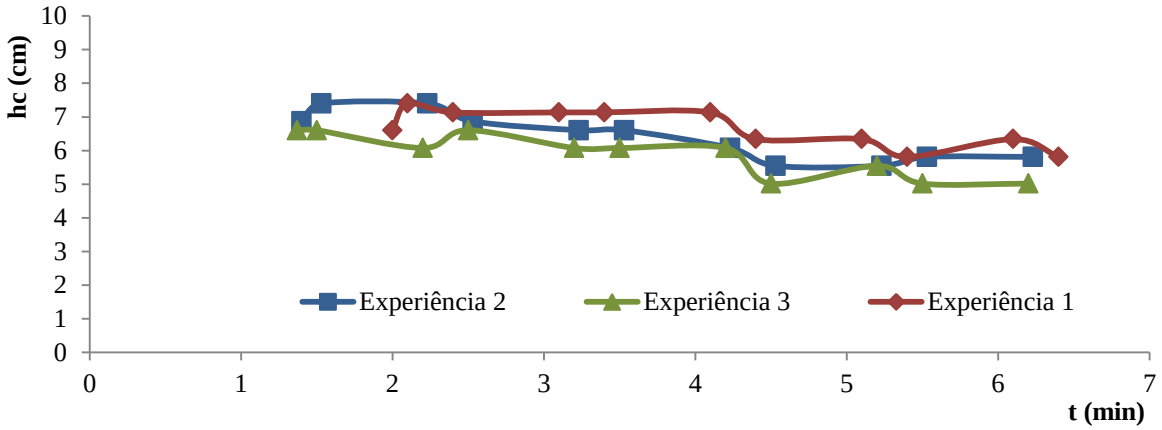


Figura 5.20 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 7

De acordo com a Figura 5.20, a experiência 7.3 foi o que apresentou menores níveis de cobertura. Porém, essa mesma experiência apresentou igual diferença de volume do que aquela que se verificou na experiência 7.1. A experiência 7.2 apresentou valores intermédios de altura de água na cobertura e foi o que apresentou maior diferença de volume no decurso da sua realização.

Na Tabela 5.30 apresenta-se o resumo das experiências do ensaio 8.

Tabela 5.30 - Resumo das experiências do ensaio 8

Experiência	Diferença máxima de alturas (cm)	Diferença de volume (L)
8.1	1,85	22,22
8.2	2,64	31,73
8.3	1,59	19,04

Na Figura 5.21 está representado o gráfico geral tempo-altura de água na cobertura do ensaio 8.

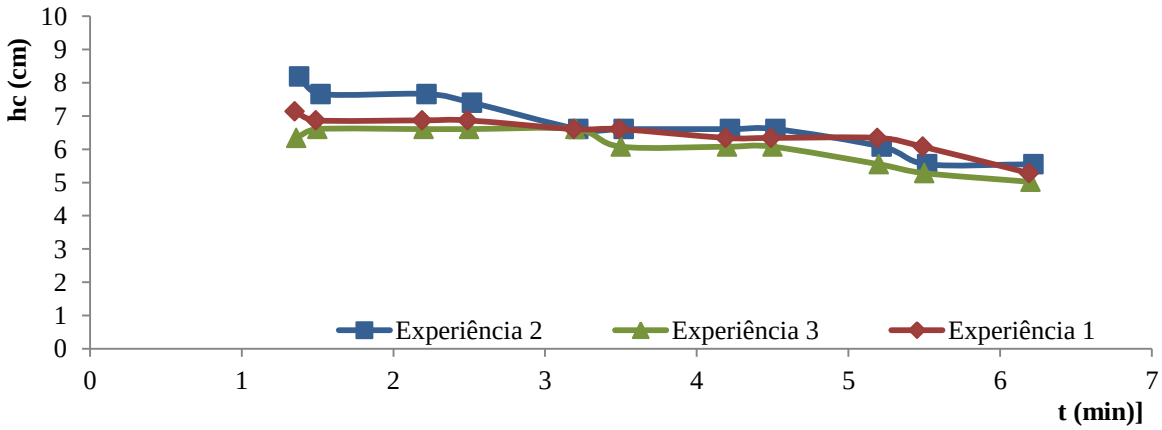


Figura 5.21 – Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 8

Como resulta da Figura 5.21, neste ensaio os níveis de água foram semelhantes ao longo do tempo. Contudo a diferença de volumes variou imenso para cada uma das experiências, sendo que foi a experiência 8.3 a que apresentou a menor, e a experiência 8.2 a maior.

Na Tabela 5.31 apresenta-se o resumo das experiências do ensaio 9.

Tabela 5.31 - Resumo das experiências do ensaio 9

Experiência	Diferença máxima de alturas (cm)	Diferença de volume (L)
9.1	1,10	13,18
9.2	0,55	6,59
9.3	0,55	6,59

Na Figura 5.22 está representado o gráfico geral tempo-altura de água na cobertura do ensaio 9.

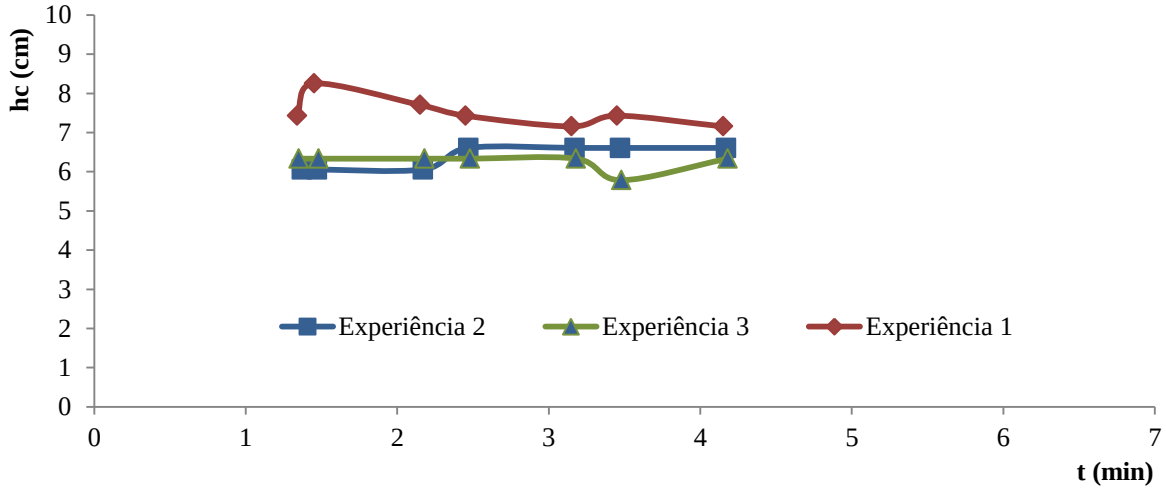


Figura 5.22 - Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 9

De acordo com a Figura 5.22, neste conjunto de experiências os níveis de água foram semelhantes ao longo do tempo, apenas a experiência 9.1 apresentar maiores valores. A diferença de volumes é igual nas experiências 9.2 e 9.3, e a experiência 9.1 apresenta maior volume.

Na Tabela 5.32 apresenta-se o resumo das experiências do ensaio 10.

Tabela 5.32 - Resumo das experiências do ensaio 10

Experiência	Diferença máxima de alturas (cm)	Diferença de volume (L)
10.1	1,37	16,46
10.2	1,65	19,75
10.3	0,55	6,58

Na Figura 5.23 está representado o gráfico geral tempo-altura de água na cobertura do ensaio 10.

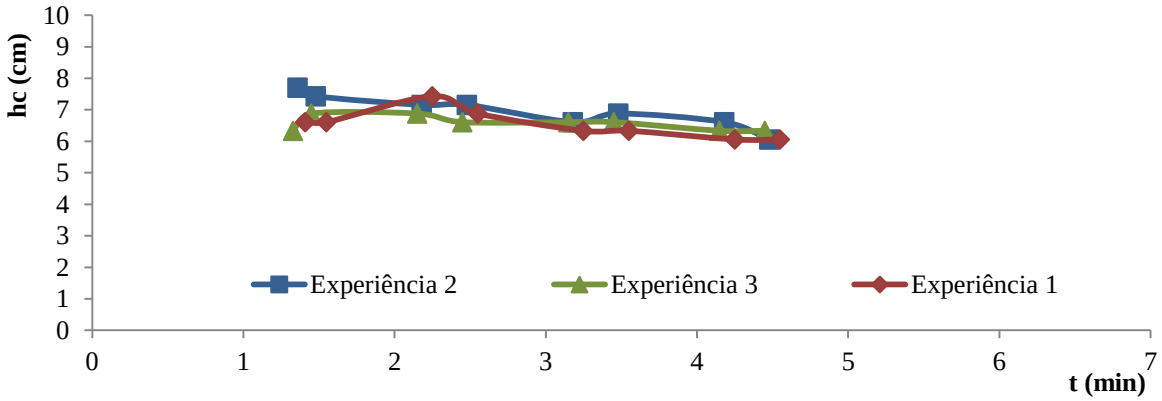


Figura 5.23 - Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 10

Como resulta da Figura 5.23, neste ensaio os níveis de água foram semelhantes ao longo do tempo. Contudo a diferença de volumes varia imenso das experiências 10.1 e 10.2 para a experiência 10.3, esta ultima com menor valor.

Na Tabela 5.33 apresenta-se o resumo das experiências do ensaio 11.

Tabela 5.33 - Resumo das experiências do ensaio 11

Experiências	Diferença máxima de alturas (cm)	Diferença de volume (L)
11.1	0,56	6,59
11.2	1,10	13,16
11.3	0,55	6,58

Na Figura 5.24 está representado o gráfico geral tempo-altura de água na cobertura do ensaio 11.

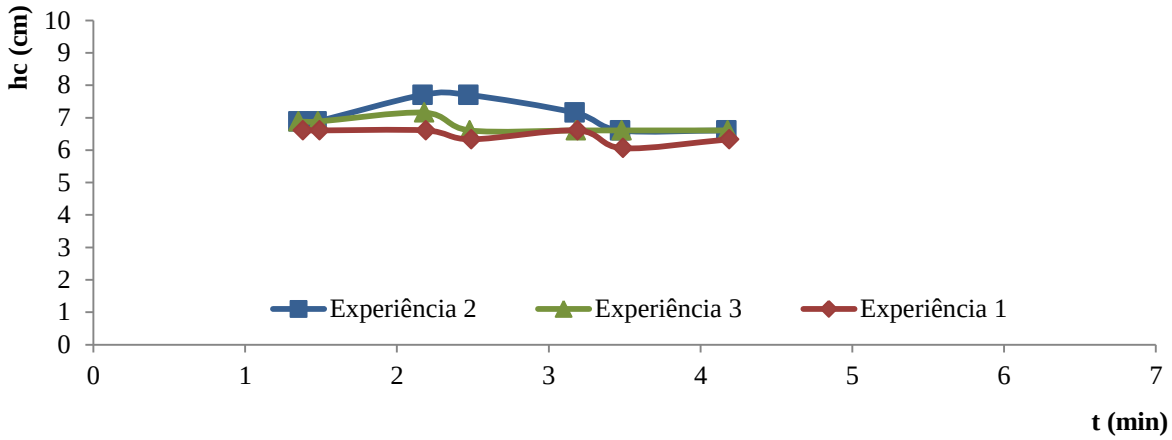


Figura 5.24 - Variação temporal da altura de água na cobertura do ensaio 11

Por fim, e como resulta da Figura 5.24 neste ensaio, a experiência 11.2 tem maiores níveis de água do que os restantes. A diferença de volumes varia das experiências 11.1 e 11.3 para a experiência 11.2, tendo esta ultima maior valor.

Os maiores níveis de água alcançados na cobertura ocorrem no momento de entrada em pressão devido ao aumento do volume de água existente na tubagem. Este efeito é ultrapassado no primeiro min após a reentrada em pressão.

5.2.4. Visualização da mistura água- corante

Um dos objetivos deste trabalho era visualizar o escoamento da água. Nesse sentido, recorreu-se à utilização de um corante (azul-de-metileno), para melhor se compreender e visualizar todo o mecanismo. Importa não esquecer que o corante utilizado no decurso das experiências visava, ainda, exemplificar e simbolizar o lixo existente nos telhados das casas, cuja quantidade pode influenciar no volume de água a ser desviada.

Como a instalação experimental utilizada funciona em circuito fechado ocorreram limitações óbvias, nomeadamente no abastecimento do R1 e na utilização do corante. Este último apenas podia ser vertido na parte central superior do ralo sifónico, pois só dessa forma se podia evitar a permanência do corante na cobertura e que a água colorada fosse encaminhada para o R1. Se assim não fosse, prejudicada ficava a execução das experiências, já que seriamos confrontados com a dificuldade em diferenciar a água debitada pelos 4 chuveiros, que deve ser água limpa, da água tingida após a colocação do corante.

Por outro lado, o momento de colocação do corante dentro do ralo sifónico teria de ocorrer segundos antes da entrada do sistema em pressão, para que fosse possível a visualização desse momento, da quebra que existe, e da reentrada do sistema em pressão até ao final.

Após a colocação do corante constatou-se que a água foi ficando corada de uma forma mais leve, de seguida mais concentrada, e voltou a ficar mais leve até acabar por ficar límpida. As diversas tonalidades são bem visíveis, tal como se pode constatar da Figura 5.25.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.25 – Tonalidades diferentes da mistura água-corante (a) na experiência 6.2, (b) (c) na experiência 6.3, (d) e na experiência 7.3

Visionou-se e determinou-se, ainda, a velocidade de escoamento ao longo da tubagem nos dois patamares existentes na estrutura (nível 1 e nível 2) e no conjunto de troços nº16, 15 e 14. Para esse efeito, mediu-se os tempos de entrada e de saída da respetiva tubagem, sendo que o troço 11 corresponde ao nível 1 e o troço 9 corresponde ao nível 2. Assim, obtidos os

comprimentos desses troços e pela expressão da velocidade (v=s/t) foram alcançados os resultados presentes na Tabela 5.34.

Tabela 5.34 – Velocidade de escoamento

Ensaio		1nivel			2nivel			Troços nº16, 15 e 14		
	Tempo em que se deita o corante apos o início da precipitação (s)	Δt (s)	C (m)	V (ms^{-1})	Δt (s)	C (m)	V (ms^{-1})	Δt (s)	C (m)	V (ms^{-1})
6	57,30	2	2,63	1,32	2	2,58	1,29	0,47	1,06	2,26
7	55	2	2,63	1,32	2	2,58	1,29	0,15	1,06	7,07
8	51,70	2	2,63	1,32	2	2,58	1,29	0,22	1,06	4,82
9	51,70	2	2,63	1,32	2	2,58	1,29	0,14	1,06	7,57
10	52	2	2,63	1,32	2	2,58	1,29	0,14	1,06	7,57
11	51,70	2	2,63	1,32	2	2,58	1,29	0,44	1,06	2,41

Da Tabela 5.34, conclui-se que a velocidade de escoamento de água com corante é igual ao longo de toda a tubagem de igual diâmetro. De acordo com os dados fornecidos pela Geberit relativamente à velocidade de água necessária (Tabela 4.2) para que o enchimento da tubagem seja de 100 %, ela terá de ser de 1,40 ms^{-1} em ambos os níveis estudados e de 2,60 ms^{-1} nos troços 16, 15 e 14. Para os troços 9 e 11 confirmou-se a velocidade com os resultados experimentais, mostrando que o escoamento no interior do sistema é sempre semelhante, qualquer que seja o intervalo de funcionamento das válvulas. Contudo, para os troços 16, 15 e 14 a velocidade que era a indicada pela Geberit só foi confirmada nos ensaios 6 e 11. Nos restantes ensaios a velocidade de escoamento é superior, o que fica a dever-se aos diferentes instantes em que se deita o corante, que pode coincidir ou não com o sistema a funcionar em pressão.

Uma outra conclusão que se retira das imagens vídeo é que quando o sistema ainda não funciona em pressão a água tem sempre algum retorno, contaminando a água a montante. Contudo, após entrada em pressão e com a velocidade que ela provoca, a água com corante já não se mistura com a água limpa a montante. Ou seja, a partir do instante em que entra em pressão já não existe retorno no escoamento.

O facto de haver uma quebra entre os dois momentos em que o sistema entra em pressão fica a dever-se à existência de bolhas de ar que se prolongam até ao troço nº10.

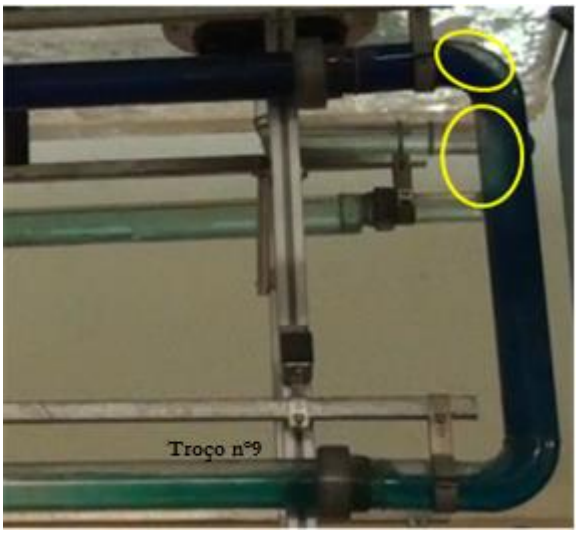
A existência de ar na tubagem tem um papel fundamental neste tipo de sistemas, sobretudo ao nível da sua capacidade do sistema, nas perdas de atrito do material utilizado, na altura de água na tubagem e, ainda, ao nível da cobertura. Por outro lado, vai limitar a pressão negativa existente em todo o sistema (Beecham, 2013).

A capacidade máxima do sistema sifónico diminui com a entrada de ar no seu interior. Porém, essa redução não é proporcionalmente linear, circunstância essa que fica a dever-se ao facto do volume das bolhas de ar se expandir significativamente quando submetido a pressões subatmosféricas, ocupando assim maior volume no interior do tubo (May, 2004, *apud* Beecham, 2013).

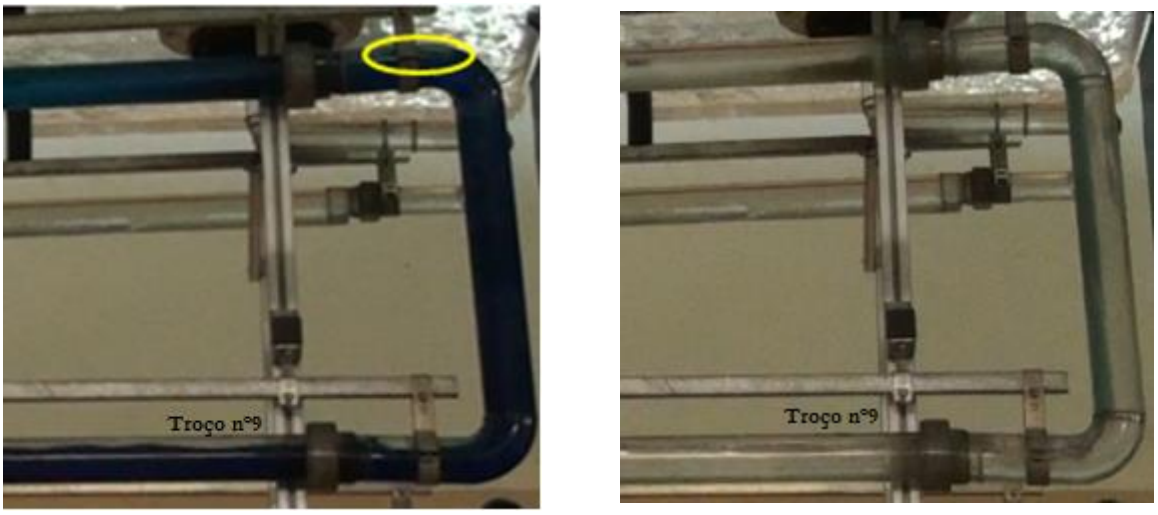
Esta situação é ultrapassada com o aumento da pressão de água no mesmo troço, que vai provocar o retorno das bolhas de ar até à cobertura. Na Figura 5.26 podem ver-se as diferentes fases deste processo. Na figura vê-se, ainda, que no troço nº9 permanece algum ar, que fica a dever-se a deficiência na soldadura das juntas.



(a)



(b)



(c) (d)

Figura 5.26 – Imagens da experiência 9.2 (a) no momento de entrada em pressão, (b) no momento da quebra de pressão, (c) no momento de fim de quebra de pressão, (d) e no momento de reentrada em pressão

De todo o processo resultou que o escoamento ocorrido se reporta a um escoamento laminar, pois a água move-se ao longo de trajetórias bem definidas e, após a sua mistura com o corante, essas trajetórias continuam a ser as mesmas. A sua mistura é heterogénea já que é possível distinguir os seus diferentes componentes e diversas tonalidades.

5.3. Conclusões

As sucessivas alterações climáticas, com a sucessiva ocorrência de fenómenos extremos e a nova realidade económica e social com que somos atualmente confrontados, apenas podem sugerir uma direção, a da necessidade de fomentar a crescente aposta na utilização de SAAP.

Nesse sentido optou-se pela realização de uma série de ensaios, sendo certo que a sua preparação se tornou mais demorada do que seria desejável, devido, essencialmente, à logística necessária à realização dos mesmos.

A atividade experimental executada visou a procura da otimização de processos na utilização do SAAP, na procura de uma solução que permitisse uma redução da quantidade de água a rejeitar, dessa forma potenciando uma maior capacidade de armazenamento. Assim ganha relevância o desenvolvimento de um sistema de *first-flush* associado a um sistema de drenagem sifónica.

Importa, porém, salvaguardar as respetivas e necessárias diferenças com a realidade, na medida em que é bastante pouco provável que ocorra uma precipitação continua com as dimensões daquelas com que se trabalhou, e isto não obstante a frequência de fenómenos atmosféricos extremos a que vamos assistindo.

Foi concebido um sistema *first-flush* constituído por uma forquilha dotada de duas válvulas motorizadas que permite desviar a água quer para um reservatório das primeiras águas, quer para o reservatório de armazenamento de água pluvial. A análise do funcionamento hidráulico deste sistema permitiu concluir que a melhor eficiência do sistema, para uma duração de precipitação de 6 min, só é possível desde que o intervalo de tempo em que ocorre o desvio de água a rejeitar seja sempre inferior a 3min 18s.

Na verdade, e como já foi referido, a ativação do funcionamento das válvulas monitorizadas é manual. Ora, tal situação é impensável no dia-a-dia, uma vez que não é compatível com a realidade, a necessidade da presença de um individuo para a ativação do sistema nos eventos de precipitação. Assim, seria de todo imperioso que o comando das válvulas fosse automaticamente acionado em função de um determinado nível de água alcançado no R2. Uma solução possível seria, assim, a colocação de uma válvula de nível nesse reservatório.

Por outro lado dos ensaios realizados resultou, ainda, que os maiores níveis de água alcançados na cobertura ocorriam no instante de entrada em pressão devido ao aumento do volume de água existente na tubagem. Tal situação deve-se à circunstância de estarmos perante um funcionamento em superfície livre, o que provoca um aumento de energia para que dentro da tubagem o caudal escoado seja maior. Este efeito é ultrapassado no primeiro min após a entrada em pressão, devido à elevada velocidade de escoamento da água.

Por fim, e no que se reporta à visualização do escoamento, conclui-se que a sua velocidade é elevada e uniforme para tubagem de igual diâmetro. De igual modo se constatou que o movimento da água ocorre sem qualquer retorno, quando o sistema funciona em pressão, evitando-se assim a possível contaminação de água mais limpa correspondente a durações de precipitação superiores. De acordo com os resultados experimentais é possível concluir que o sistema *first-flush* desenvolvido permite efetivamente a rejeição das primeiras águas.

6. CONCLUSÃO

Neste último capítulo apresentam-se as conclusões desta dissertação, bem como possíveis sugestões para trabalhos futuros.

6.1. Conclusões

O presente trabalho consistiu, numa primeira fase, numa pesquisa sobre o funcionamento de um sistema sifónico, bem como as suas vantagens relativas a um sistema tradicional. Foi possível concluir que as vantagens mais importantes do sistema sifónico em relação ao sistema tradicional são: redução do número e diâmetro dos tubos de queda e, consequentemente, redução de caixas de ligação a executar, aumento de espaço interior com a possível colocação do tubo coletor de forma horizontal junto ao telhado ou da caleira.

Numa segunda fase, houve a preocupação em perceber como se poderia modificar o SAAP já instalado na Escola de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, os materiais a utilizar, o visionamento do funcionamento e trajetória da água no seu interior, e a possibilidade de melhorar a eficiência do mesmo. Foi possível concluir que haveria a necessidade de se construir uma parte do SAAP (dispositivo *first-flush*, reservatório de desvio das primeiras águas, descarga de fundo), bem como da colocação de válvulas monitorizadas para controlo do tempo das águas a desviar e armazenar. Concluiu-se, ainda, que a melhor forma de se visionar todo o processo era mediante a utilização de um corante (azul-de-metileno).

Numa terceira fase, tratou-se de conceber um dispositivo *first-flush* adequado a um sistema de drenagem sifónica, tendo em vista a quantificação das primeiras águas a serem excluídas e a minimização do volume de águas rejeitadas. Após, fez-se o levantamento das dimensões de todos os componentes que constituem o SAAP, para a posterior realização dos ensaios e a quantificação do caudal debitado. Dessa atividade apurou-se que o modelo experimental utilizado apresenta um caudal debitado aproximadamente igual a 210 $Lmin^{-1}$, numa área de cobertura de 1,20 m^2, que, transposto para a realidade, equivaleria a uma área de cobertura próxima de 150 m^2, segundo a ETA 0701.

A quarta fase assentou na realização dos 11 ensaios, com igual caudal debitado, mas com diferente duração de precipitação (4, 5 e 6 min) e diversos períodos de funcionamento do dispositivo *first-flush* (aproximadamente 1, 2, 3, 4 e 5 min). Assim, foi possível concluir:

- o valor de precipitação calculado para os ensaios 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 está entre 0.5 e 8.5 mm, conforme definido na ETA 0701;
- entre os conjuntos dos ensaios 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8, com duração de precipitação de 6 min, afigura-se recomendável e aconselhável a opção pelo ensaio 2, por apresentar maior eficiência no que se refere ao volume desviado e armazenado;
- entre os conjuntos dos ensaios 9 e 10, com duração de precipitação de 5 min, é recomendável e aconselhável a opção pelo ensaio 9, pelos mesmos motivos referidos anteriormente.

- a melhor eficiência do sistema, para uma duração de precipitação de 6 min, só é possível desde que o intervalo de tempo em que ocorre o desvio de água a rejeitar seja sempre inferior a 3 min 18 s;

- em comparação com as experiências com duração de precipitação de 5 min e de 6 min conclui-se que o volume desviado é semelhante. Contudo o volume armazenado é menor devido ao menor tempo de precipitação tornando-se, assim, menos vantajoso;

- os maiores níveis de água alcançados na cobertura eram alcançados no momento de entrada em pressão, devido ao aumento do volume de água existente na tubagem e do funcionamento ser em superfície livre.

Por fim, na quinta e última fase, efetuou-se a visualização do escoamento com a utilização de um corante (azul-de-metileno) com o objetivo de compreender e visualizar todo o mecanismo, bem como determinar a velocidade dentro das condutas. Assim, foi possível concluir que:

- a existência de uma quebra entre os dois momentos em que o sistema entra em pressão fica a dever-se à existência de bolhas de ar que se prolongam até ao troço nº10. Esta situação é ultrapassada com o aumento da pressão de água no mesmo troço, que vai provocar o retorno das bolhas de ar até à cobertura;
- a sua velocidade é elevada e uniforme para tubagem de igual diâmetro;

- o movimento da água ocorre sem qualquer retorno quando o sistema funciona em pressão, evitando-se, assim, a possível contaminação de água mais limpa.

6.2. Sugestões para trabalhos futuros

O trabalho realizado permitiu desenvolver conhecimentos novos num domínio que ainda não tem sido muito explorado, o que claramente demonstra que há muito trabalho ainda a desenvolver para além do que aqui foi exposto.

Na sequência do presente estudo e de maneira a aumentar o conhecimento relativo ao fenómeno do aproveitamento de águas pluviais, por uma via experimental, apresentam-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- realização de ensaios com maiores durações de precipitação, e diferentes tempos de funcionamento das válvulas monitorizadas;
- realização de ensaios com diferente caudal debitado;
- medição de pressões ao longo de todo o processo;
- simulação numérica do escoamento dentro da tubagem, devido ser um escoamento bifásico (ar e água);
- alteração da geometria da torre hidráulica;
- alteração dos materiais das tubagens e acessórios;
- medição da qualidade de água no R1 nos diferentes ensaios e em diferentes instantes;
- estudo técnico-económico do dispositivo *first-flush* utilizado;
- conceção de um novo dispositivo *first-flush* para sistemas sifónicos em escoamento sob pressão.

Por último, este trabalho só estará completo quando se garantir o sucesso desta nova forma *in situ*, contribuindo para uma melhor eficiência dos sistemas e para um melhor empreendedorismo que é fundamental para o desenvolvimento de qualquer país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M.C.; Vieira, P.; Ribeiro, R. (2006). Uso eficiente da água no sector urbano. Série Guias Técnicos 8. Instituto Regulador de Águas Residuais, Instituto da Água e Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Agosto de 2006. ISBN 972-99354-9-1.

Amorim, S. V. (2008). Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. São Carlos, Brasil.

Assembleia da República. Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, Diário da República - I Série-A, N.ª 249, 29 de Dezembro de 2005.

Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP). Especificação Técnica ANQIP – ETA 0701: Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Edifícios (SAAP). Aveiro: ANQIP; 2009.

Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP). Especificação Técnica ANQIP – ETA 0702: Certificação de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais. Aveiro: ANQIP; 2009.

Baptista, J.M.; Almeida, M.C.; Vieira, P.; Silva, A.M.; Ribeiro, R.; Fernando, R.M.C.; Serafim, A.; Alves, I.; Cameira, M.R. (2001). Programa Nacional para o Uso eficiente da água (Versão preliminar). Outubro, INAG, Lisboa.

Beecham, S.; Lucke, T., Air water flows in building drainage systems, Urban Water Journal. Published online: 24 October 2013.

Bertolo, E., Aproveitamento da água da chuva em edificações. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos de grau de mestre em Engenharia do Ambiente (Tratamento de Água e Águas Residuais), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto - Junho de 2006.

Dacach, N.G. Saneamento básico. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1979.

Decreto – Lei n.º 207/94, de 6 de Agosto (1994). Revisão e Atualização dos Regulamentos Gerais das Canalizações de Água e de Esgoto. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.

Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto (1995). Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais.

DQA (2000). Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000 que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água. Jornal Oficial das Comunidades Europeias.

Ecoágua, Catálogo 3P Technick.

DTU – Development Technology Unit (2003). Domestic Roofwater harvesting technology. School of Engineering, University of Warwick, UK.

Geberit, Manuel Pour études sanitaires, Janeiro 2011.

Grando, M., Zolett E., Jabur, A., Aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis para habitações sociais. Synergismus scyentifica UTFPR; v.6, nº1, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil – 2011.

Group Raindrops. Rainwater & You: 100 ways to use rainwater. Tokyo: Organizing Committee for the Tokyo International Rainwater Utilization Conference, 1995.

Lima, M.M.C.L., Medição Simultânea de Velocidade e Concentração através de Anemometria Laser Doppler e Fluorescência Induzida por Laser, Tese de Doutoramento em Ciências de Engenharia, Universidade do Porto (2000).

Magalhães, J., Aproveitamento de águas pluviais - Aplicação de um sistema de aproveitamento a um hospital. Dissertação submetida para obtenção do grau de mestre em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto - Julho de 2013.

Masato Kobiyama, Dr, Tatiane Checchia, MSc., Roberto Valmir da Silva, MSc., Tecnologias Alternativas para Aproveitamento de Águas, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

May, R., 2004. Design criteria for siphonic roof drainage systems. Report No. SR 654. Wallingford, UK, HR Wallingford.

Oliveira, L., Reis, R., Sistemas integrados: Aproveitamento de água pluvial e drenagem na fonte, Novembro de 2008.

Oliveira, F., Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental - Simulador para avaliação da viabilidade. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Setembro 2008.

Pereira, J.P., Sistemas prediais não tradicionais de drenagem de águas residuais pluviais: Sistemas sifónicos ou em pressão. Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil (especialização em Construções), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto – Junho 2012.

PORTUGAL. Ministério do Ambiente – Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto: D.R.: I Série-A N.º 176, 98-08-01.

Portugal. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território – PNUEA - Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água. Versão Preliminar, Lisboa, Setembro de 2001.

Rattenbury, John M., Siphonic Roof Drainage, PDHonline Course M256 (12 PDH), 2012.

Reis, R.; Oliveira, L., Sistemas integrados: aproveitamento de água pluvial e drenagem na fonte, Novembro 2008.

Rodrigues, J., Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais - Dimensionamento e Aspetos Construtivos. Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

(especialização em Hidráulica), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto - Junho de 2010.

Rodrigues M, Calado L, Benguela Z, et al. Gestão Integrada da Água – Teses em Gestão e Conservação da Natureza. Parede: Principia Editora, Lda.; 2009.

Ruas M., Vital R., Ramisio P., Nunes E., Medeiros C., Santos A., Beltrão J., Farinha P., Olival L., Grundfos sistemas de pressurização, Manuel de Engenharia, Março 2005.

Sacadura, F., Análise de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edifícios. Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil (especialização em Construção), Faculdade de Ciências Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa – 2011.

Santos, D., Aplicação de Medidas de Eficiência Hídrica em Meio Hospitalar: O caso do Aproveitamento de Águas Pluviais. Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Saúde Ocupacional, Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, Coimbra - 2011.

Siphonic Roof drainage Association, The Siphonic Guide, A guide to Siphonic Roof Drainage, 2011.

Smith, Jay R., The Fundamentals of Siphonic Roof Drainage System Design, Manufacturing Company, 2008.

Sousa A, Silva J. Tratamento dos Efluentes Líquidos gerados e aproveitados da Água da Chuva: I – Requisitos de Tratamento, Aveiro Domus, Sub-projecto de Águas Interiores. Aveiro: Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro; 2006.

TCEQ (Texas Commission on Environmental Quality), Harvesting, Storing, and Treating Rainwater for Domestic Indoor Use, Janeiro, 2007.

TWDB - Texas Water Development Board in cooperation with the Center for Maximum Potential Building Systems – Texas Guide to Rainwater Harvesting. Second Edition. Austin, Texas, 1997.

Texas Water Development Board, Texas Manual on Rainwater Harvesting, 2005

Tomaz, P. – Água da Chuva: Aproveitamento de Água da Chuva para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis. 1ª Edição. São Paulo: Navegar Editora, 2003. ISBN 85-87678-23-x.

Vieira, J., Slides de apoio às aulas teóricas de Gestão da Água, Universidade do Minho, 2012.

Lista de endereços de sites consultados

Empresa OLI, Sistemas de aproveitamento de águas pluviais (2012): http://www.oli.pt/xFiles/scContentDeployer_pt/docs/Doc394.pdf, Consultado em Dezembro 2013.

Empresa Ecoágua: http://www.ecoagua.pt, Consultado em Dezembro 2013.

Terceira Mar Hotel, Angra do Heroísmo, Ilha Terceira - Açores (2003), construção de um SAAP: http://ec.europa.eu/environment/emas/pdf/es_library/55_1pt_tercmar03_pt.pdf, Consultado em Dezembro 2013.

Informação teórica sobre a Diretiva Quadro de Água (DQA): http://www.apambiente.pt/_zdata/politicas/ambiente&saude/nocontextoeuropeu/directiva_quadro_agua.pdf e http://www.apambiente.pt/dqa/assets/publ_portugal_dqa.pdf, Consultado em Dezembro 2013.

Informação teórica sobre o aproveitamento da água da chuva: http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/civil/dtu/rwh, Consultado em Dezembro 2013.

Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água: http://www.apambiente.pt/_zdata/consulta_publica/2012/pnuea/implementacao-pnuea_2012-2020_junho.pdf, Consultado em Dezembro 2013.

Informação teórica sobre a falta de água no Mundo e a necessidade de aproveitamento: http://super.abril.com.br/ciencia/era-falta-d-agua-441456.shtml, Consultado em Dezembro 2013, Consultado em Dezembro 2013.

Site oficial da Empresa Geberit: http://www.geberit.pt/, Consultado em Abril 2014.

Informação teórica sobre sistemas de drenagem: http://w3.ualg.pt/~mfarinha/TECNOLOGIA_EDIFICIOS/Sistemas%20de%20drenagem%20Geberit_UALG_NOV09.pdf, Consultado em Abril 2014.

Informação teórica sobre sistemas sifónicos: http://www.jrsmith.com/, Consultado em Maio 2014.

Informação teórica sobre teorema da quantidade de movimento: http://pt.scribd.com/doc/63341002/22/Teorema-da-quantidade-de-movimento-ou-de-Euler. Abril 2012, Consultado em Maio 2014.

Site Oficial de Taylor&Francis (Jornal/Revista): http://www.tandfonline.com/, Consultado em Maio 2014.

Informação teórica sobre sistemas sifónicos: http://www.siphonic-roof-drainage.co.uk/, Consultado em Maio 2014.

Programa informático ImageJ: http://imagej.nih.gov/ij/, Consultado em Agosto 2014.

ANEXOS

Anexo I - Ficha de Segurança do HCl

SIGMA-ALDRICH sigma-aldrich.com

FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA

de acordo com a Regulamento (CE) No. 1907/2006
Versão 5.4 Data de revisão 15.10.2012
Data de impressão 16.10.2012

1. IDENTIFICAÇÃO DA SUBSTÂNCIA/MISTURA E DA SOCIEDADE/EMPRESA

1.1 Identificadores do produto

Nome do produto : Ácido clorídrico

Referência do Produto : 320331
Marca : Sigma-Aldrich
No. de Index : 017-002-01-X
No. CAS : 7647-01-0

1.2 Utilizações identificadas relevantes da substância ou mistura e utilizações desaconselhadas

Utilizações identificadas : Produtos químicos de laboratório, Fabrico de substâncias

1.3 Identificação do fornecedor da ficha de dados de segurança

Companhia : Sigma-Aldrich Quimica SA
Ronda de Poniente, 3
Aptdo. Correos 278
E-28760 TRES CANTOS-MADRID

Telefone : +34 91 6619977
Número de Fax : +34 91 6619642
Email endereço : eurtechserv@sial.com

1.4 Número de telefone de emergência

Núnero de Telefone de Emergência : +44 1235 239 670

2. IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS

2.1 Classificação da substância ou mistura

Classificação de acordo com el Regulamento (CE) 1272/2008 [UE-GHS/CLP]
Corrosão cutânea (Categoria 1B)
Toxicidade para órgãos-alvo específicos - exposição única (Categoria 3)

Classificação de acordo com as Directivas da EU 67/548/CEE ou 1999/45/CE
Provoca queimaduras. Irritante para as vias respiratórias.

2.2 Elementos da etiqueta

Rotulagem de acordo com o Regulamento (CE) 1272/2008 [UE-GHS/CLP]

Pictograma



Palavra-sinal: Perigo

Declaração de perigo
H314: Provoca queimaduras na pele e lesões oculares graves.
H335: Pode provocar irritação das vias respiratórias.

declaração de precaução
P261: Evitar respirar as vapores.
P280: Usar luvas de protecção/ vestuário de protecção/ protecção ocular/ protecção facial.
P305 + P351 + P338: SE ENTRAR EM CONTACTO COM OS OLHOS: enxaguar cuidadosamente com água durante vários minutos. Se usar lentes de contacto, retire-as, se tal lhe for possível. Continuar a enxaguar.

P310	Contacte imediatamente um CENTRO DE INFORMAÇÃO ANTIVENENOS ou um médico.
Declarações de Perigo Adicionais	nenhum(a)

De acordo com a directiva Europeia 67/548/CEE, e emendas.

símbolo de perigosidade



Frase(s) - R	
R34	Provoca queimaduras.
R37	Irritante para as vias respiratórias.
Frase(s) - S	
S26	Em caso de contacto com os olhos, lavar imediata e abundantemente com água e consultar um especialista.
S45	Em caso de acidente ou de indisposição, consultar imediatamente o médico (se possível mostrar-lhe o rótulo).

2.3 Outros Perigos - nenhum(a)

3. COMPOSIÇÃO/ INFORMAÇÃO SOBRE OS COMPONENTES

3.2 Misturas

Formula : HCl
Peso molecular : 36,46 g/mol

Componente		Classificação	Concentração
Hydrochloric acid			
No. CAS	7647-01-0	Skin Corr. 1B; STOT SE 3; H314, H335	25 - 50 %
No. CE	231-595-7	C, R34 - R37	
No. de Index	017-002-01-X		

Para ver o texto completo das frases de riscos e segurança mencionadas nesta secção, ver secção 16

4. PRIMEIROS SOCORROS

4.1 Descrição das medidas de primeiros socorros

Recomendação geral
Consultar um médico. Mostrar esta ficha de segurança ao médico de serviço.

Se for inalado
Se for respirado, levar a pessoa para o ar fresco. Se não respirar, dar respiração artificial. Consultar um médico.

No caso dum contacto com a pele
Despir imediatamente a roupa e os sapatos contaminados. Lavar com sabão e muita água. Consultar um médico.

No caso dum contacto com os olhos
Lavar cuidadosamente com muita água, durante pelo menos quinze minutos, e consultar o médico.

Se for engolido
NÃO provocar vómitos. Nunca dar nada pela boca a uma pessoa inconsciente. Enxaguar a boca com água. Consultar um médico.

4.2 Sintomas e efeitos mais importantes, tanto agudos como retardados
sensação de queimadura, Tosse, respiração ruidosa, laringite, Respiração superficial, espasmo, inflamação e edema da laringe, espasmo, inflamação e edema dos brônquios, pneumonite, edema pulmonar, O material é extremamente destrutivo para os tecidos das membranas mucosas e para o trato respiratório superior, os olhos e a pele. (Hydrochloric acid)

4.3 Indicações sobre cuidados médicos urgentes e tratamentos especiais necessários
dados não disponíveis

5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIOS

5.1 Meios de extinção

Meios adequados de extinção
Usar meios de extinção que sejam apropriados às circunstâncias locais e ao ambiente envolvente.

5.2 Perigos especiais decorrentes da substância ou mistura
Cloreto de hidrogénio gasoso
Cloreto de hidrogénio gasoso

5.3 Recomendações para o pessoal de combate a incêndios
Usar equipamento de respiração autónomo para combate a incêndios, se necessário.

5.4 Outras informações
O produto não queima.

6. MEDIDAS A TOMAR EM CASO DE FUGAS ACIDENTAIS

6.1 Precauções individuais, equipamento de protecção e procedimentos de emergência
Usar equipamento de protecção individual. Evitar a respiração do vapor/névoa/gas. Assegurar ventilação adequada. Evacuar o pessoal para áreas de segurança.

6.2 Precauções a nível ambiental
Não permitir a entrada do produto no sistema de esgotos.

6.3 Métodos e materiais de confinamento e limpeza
Embeber em material inerte e absorvente e tratar como desperdício especial. Manter em recipientes fechados adequados, para eliminação.Embeber em material inerte e absorvente e tratar como desperdício especial. Manter em recipientes fechados adequados, para eliminação.

6.4 Remissão para outras secções
Para eliminação de resíduos ver secção 13.

7. MANUSEAMENTO E ARMAZENAGEM

7.1 Precauções para um manuseamento seguro
Evitar o contacto com a pele e os olhos. Evitar a inalação do vapor ou da névoa.

7.2 Condições de armazenagem segura, incluindo eventuais incompatibilidades
Armazenar em local fresco. Guardar o recipiente herméticamente fechado em lugar seco e bem ventilado. Os contentores abertos devem ser cuidadosamente fechados de novo e têm que ficar direitos para evitar a dispersão.

7.3 Utilizações finais específicas
dados não disponíveis

8. CONTROLO DA EXPOSIÇÃO/ PROTECÇÃO INDIVIDUAL

8.1 Parâmetros de controlo

Componentes a controlar com relação ao local de trabalho

Componente	No. CAS	Valor	Parâmetros de controlo	Bases
Hydrochloric acid	7647-01-0	TWA	5 ppm 8 mg/m3	Directiva 2000/39/CE da Comissão relativa ao estabelecimento de uma primeira lista de valores limite de exposição profissional indicativos
	Observações	Indicativo		
		STEL	10 ppm 15 mg/m3	Directiva 2000/39/CE da Comissão relativa ao estabelecimento de uma primeira lista de valores limite de exposição profissional indicativos
		Indicativo		
		VLE-CE	2 ppm	Segurança e Saúde no Trabalho - Valores limite de exposição profissional a agentes químicos
		Abrangido por legislação nacional específica ou por legislação comunitária não transposta Agentes não classificáveis como carcinogénicos no Homem irritação do tracto respiratório superior		

8.2 Controlo da exposição

Controlos técnicos adequados
Manusear de acordo com as boas práticas industriais de higiene e segurança. Lavar as mãos antes de interrupções, e no final do dia de trabalho.

Protecção individual

Protecção ocular/ facial
Óculos de segurança bem ajustados. Proteção da face (mínimo de 8 polegadas (20 cm)). Use equipamento de proteção ocular testado e aprovado de acordo com as normas governamentais adequadas, tais como NIOSH (US) ou EN 166 (EU).

Protecção da pele
Manusear com luvas. As luvas devem ser inspectadas antes da utilização. Use uma técnica adequada para a remoção das luvas (sem tocar a superfície exterior da luva) para evitar o contacto da pele com o produto. Descarte as luvas contaminadas após o uso, em conformidade com as leis e boas práticas de laboratório . Lavar e secar as mãos.

As luvas de protecção seleccionadas devem satisfazer as especificações da Directiva da UE 89/689/CEE e a norma EN 374 derivada dela.

Protecção do corpo
Fato completo de protecção para produtos químicos, O genero de equipamento de protecção deve ser escolhido de acordo com a concentração e a quantidade da substância perigosa no lugar de trabalho.

Protecção respiratória
Nos casos em que a avaliação de risco mostrar que os respiradores purificadores do ar são apropriados, use um respirador de cobertura facial total com cartuchos de combinação multi-objectivos (E.U.A.) ou do tipo ABEK (EN 14387) como apoio a controlos de engenharia. Se o respirador for o único meio de protecção, usa um respirador de ar de cobertura facial total. Use respiradores e componentes testados e aprovados por normas governamentais apropriadas, tais como as NIOSH (E.U.A.) ou CEN (UE).

9. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

9.1 Informações sobre propriedades físicas e químicas de base

a)	Aspecto	Forma: líquido Cor: amarelo claro
b)	Odor	acre
c)	Limiar olfactivo	dados não disponíveis
d)	pH	dados não disponíveis
e)	Ponto de fusão/ponto de congelação	-30 °C
f)	Ponto de ebulição inicial e intervalo de ebulição	> 100 °C
g)	Ponto de inflamação	não aplicável
h)	Taxa de evaporação	dados não disponíveis
i)	Inflamabilidade (sólido, gás)	dados não disponíveis
j)	limites de inflamabilidade superior / inferior ou explosivas	dados não disponíveis
k)	Pressão de vapor	226,636 hPa a 21,1 °C 546,596 hPa a 37,7 °C
l)	Densidade de vapor	dados não disponíveis
m)	Densidade relativa	dados não disponíveis
n)	Hidrossolubilidade	solúvel
o)	Coeficiente de partição n-octanol/água	dados não disponíveis

p)	Temperatura de auto-ignição	dados não disponíveis
q)	Temperatura de decomposição	dados não disponíveis
r)	Viscosidade	dados não disponíveis
s)	Propriedades explosivas	dados não disponíveis
t)	Propriedades comburentes	dados não disponíveis

9.2 Outra informação de segurança
dados não disponíveis

10. ESTABILIDADE E REACTIVIDADE

10.1 Reactividade
dados não disponíveis

10.2 Estabilidade química
dados não disponíveis

10.3 Possibilidade de reacções perigosas
dados não disponíveis

10.4 Condições a evitar
dados não disponíveis

10.5 Materiais incompatíveis
Bases, Aminas, Metais alcalinos, Metais, permanganatos, por exemplo, permanganato de potássio, Flúor, acetilídios metálicos, dissiliceto de hexalítio

10.6 Produtos de decomposição perigosos
Outros produtos de decomposição perigosos - dados não disponíveis

11. INFORMAÇÃO TOXICOLÓGICA

11.1 Informações sobre os efeitos toxicológicos

Toxicidade aguda
dados não disponíveis (Hydrochloric acid)

Inalação: dados não disponíveis (Hydrochloric acid)

Corrosão/irritação cutânea
Pele - coelho - Provoca queimaduras. (Hydrochloric acid)

Lesões oculares graves/irritação ocular
Olhos - coelho - Corrosivo para os olhos (Hydrochloric acid)

Sensibilização respiratória ou cutânea
dados não disponíveis (Hydrochloric acid)

Mutagenicidade em células germinativas
dados não disponíveis (Hydrochloric acid)

Carcinogenicidade

Este produto é ou contém um componente que não é classificável quanto à sua carcinogenicidade segundo sua classificação pela IARC, ACGIH, NTP ou EPA. (Hydrochloric acid)

(Hydrochloric acid)

IARC: 3 - Grupo 3: Não classificado quanto à sua carcinogenicidade para os humanos (Hydrochloric acid)

Toxicidade reprodutiva

dados não disponíveis (Hydrochloric acid)

Toxicidade para órgãos-alvo específicos - exposição única
A substância ou mistura está classificada como tóxico específico de orgãos-alvo, exposição única, categoria 3, com irritação das vias respiratórias. (Hydrochloric acid)

Toxicidade para órgãos-alvo específicos - exposição repetida
dados não disponíveis

Perigo de aspiração
dados não disponíveis (Hydrochloric acid)

Efeitos potenciais para a saúde

Inalação	Pode ser perigoso se for inalação. O material é extremamente destrutivo para os tecidos das membranas mucosas e do trato respiratório superior. Causa uma irritação no aparelho respiratório.
Ingestão	Pode ser perigoso se for engolido. Provoca queimaduras.
Pele	Pode ser perigoso se for absorto pela pele. Causa queimaduras na pele.
Olhos	Causa queimaduras nos olhos.

Sinais e sintomas de exposição
sensação de queimadura, Tosse, respiração ruidosa, laringite, Respiração superficial, espasmo, inflamação e edema da laringe, espasmo, inflamação e edema dos brônquios, pneumonite, edema pulmonar, O material é extremamente destrutivo para os tecidos das membranas mucosas e para o trato respiratório superior, os olhos e a pele. (Hydrochloric acid)

Informação adicional
RTECS: MW4025000

12. INFORMAÇÃO ECOLÓGICA

12.1 Toxicidade

Toxicidade em peixes CL50 - Gambusia affinis (peixe-mosquito) - 282 mg/l - 96 h (Hydrochloric acid)

12.2 Persistência e degradabilidade
dados não disponíveis

12.3 Potencial de bioacumulação
dados não disponíveis

12.4 Mobilidade no solo
dados não disponíveis (Hydrochloric acid)

12.5 Resultados da avaliação PBT e mPmB
dados não disponíveis

12.6 Outros efeitos adversos
dados não disponíveis

13. CONSIDERAÇÕES RELATIVAS À ELIMINAÇÃO

13.1 Métodos de tratamento de resíduos

Produto
Propor a entrega de soluções excedentes e não recicláveis a uma empresa idónea de tratamento de resíduos.

Embalagens contaminadas
Eliminar como produto Não utilizado.

14. INFORMAÇÕES RELATIVAS AO TRANSPORTE

14.1 Número ONU

ADR/RID: 1789	IMDG: 1789	IATA: 1789

14.2 Designação oficial de transporte da ONU

ADR/RID:	ÁCIDO CLORÍDRICO
IMDG:	HYDROCHLORIC ACID
IATA:	Hydrochloric acid

14.3 Classes de perigo para efeitos de transporte

ADR/RID: 8	IMDG: 8	IATA: 8

14.4 Grupo de embalagem

ADR/RID: II	IMDG: II	IATA: II

14.5 Perigos para o ambiente

ADR/RID: não	IMDG Marine pollutant: no	IATA: no

14.6 Precauções especiais para o utilizador
dados não disponíveis

15. INFORMAÇÃO SOBRE REGULAMENTAÇÃO

Esta folha de dados de segurança obedece aos requerimentos da Regulamento (CE) No. 1907/2006

15.1 Regulamentação/legislação específica para a substância ou mistura em matéria de saúde, segurança e ambiente
dados não disponíveis

15.2 Avaliação da segurança química
dados não disponíveis

16. OUTRAS INFORMAÇÕES

Texto dos código(s) H e frase(s) R mencionados na secção 3

H314	Provoca queimaduras na pele e lesões oculares graves.
H335	Pode provocar irritação das vias respiratórias.
Skin Corr.	Corrosão cutânea
STOT SE	Toxicidade para órgãos-alvo específicos - exposição única
C	Corrosivo
R34	Provoca queimaduras.
R37	Irritante para as vias respiratórias.

Outras informações

Direitos exclusivos, 2012, da Sigma-Aldrich Co. LLC. Permissão concedida para fazer número ilimitado de cópias em papel, somente para uso interno.

Acredita-se que as informações acima estejam correctas, embora não pretendam ser totalmente abrangentes, devendo ser usadas apenas como um guia. A informação contida neste documento esta baseada no presente estado do nosso conhecimento e é aplicável ás precauções de segurança apropriadas para o produto. Não representa nenhuma garantia das propriedades do produto. A Corporação Sigma-Aldrich e as suas companhias afiliadas, não responderão por nenhum dano resultante do manuseio ou do contato com o produto acima. Consultar www.sigma-aldrich.com e/ou o verso da factura ou nota que acompanha o produto para tomar conhecimento dos termos adicionais e condições de venda.

Anexo II – Ficha de Segurança de Azul-de-metileno

SIGMA-ALDRICH sigma-aldrich.com

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006
Version 5.1 Revision Date 06.08.2013
Print Date 27.08.2014

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifiers

Product name	:	Methylene blue
Product Number	:	M9140
Brand	:	Sigma-Aldrich
REACH No.	:	A registration number is not available for this substance as the substance or its uses are exempted from registration, the annual tonnage does not require a registration or the registration is envisaged for a later registration deadline.
CAS-No.	:	7220-79-3

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses	:	Laboratory chemicals, Manufacture of substances

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company	:	Sigma-Aldrich Company Ltd. The Old Brickyard NEW ROAD, GILLINGHAM Dorset SP8 4XT UNITED KINGDOM
Telephone	:	+44 (0)1747 833000
Fax	:	+44 (0)1747 833313
E-mail address	:	eurtechserv@sial.com

1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone #	:	+44 (0)1747 833100

SECTION 2: Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008
Acute toxicity, Oral (Category 4), H302
Skin irritation (Category 2), H315
Eye irritation (Category 2), H319
Specific target organ toxicity - single exposure (Category 3), H335

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

Classification according to EU Directives 67/548/EEC or 1999/45/EC
Xn Harmful R22, R36/37/38

For the full text of the R-phrases mentioned in this Section, see Section 16.

2.2 Label elements

Labelling according Regulation (EC) No 1272/2008
Pictogram



Signal word Warning

Hazard statement(s)
H302 Harmful if swallowed.

H315	Causes skin irritation.
H319	Causes serious eye irritation.
H335	May cause respiratory irritation.

Precautionary statement(s)

P261	Avoid breathing dust/ fume/ gas/ mist/ vapours/ spray.
P305 + P351 + P338	IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.
Supplemental Hazard Statements	none

Safety data sheet available on request.

2.3 Other hazards - none

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1 Substances

Synonyms	:	Tetramethylthionine chloride 3,7-bis(Dimethylamino)phenazathionium chloride Basic Blue 9
Formula	:	$C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$
Molecular Weight	:	373.90 g/mol
CAS-No.	:	7220-79-3
EC-No.	:	200-515-2

Hazardous ingredients according to Regulation (EC) No 1272/2008

Component		Classification	Concentration
Methylthioninium chloride			
CAS-No. EC-No.	7220-79-3 200-515-2	Acute Tox. 4; Skin Irrit. 2; Eye Irrit. 2; STOT SE 3; H302, H315, H319, H335	<= 100 %

Hazardous ingredients according to Directive 1999/45/EC

Component		Classification	Concentration
Methylthioninium chloride			
CAS-No. EC-No.	7220-79-3 200-515-2	Xn, R22 - R36/37/38	<= 100 %

For the full text of the H-Statements and R-Phrases mentioned in this Section, see Section 16

SECTION 4: First aid measures

4.1 Description of first aid measures

General advice
Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance.

If inhaled
If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Consult a physician.

In case of skin contact
Wash off with soap and plenty of water. Consult a physician.

In case of eye contact
Rinse thoroughly with plenty of water for at least 15 minutes and consult a physician.

If swallowed
Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed
The most important known symptoms and effects are described in the labelling (see section 2.2) and/or in section 11

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed
no data available

SECTION 5: Firefighting measures

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media
Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture
Carbon oxides, nitrogen oxides (NOx), Sulphur oxides, Hydrogen chloride gas

5.3 Advice for firefighters
Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.

5.4 Further information
no data available

SECTION 6: Accidental release measures

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures
Use personal protective equipment. Avoid dust formation. Avoid breathing vapours, mist or gas. Ensure adequate ventilation. Evacuate personnel to safe areas. Avoid breathing dust.
For personal protection see section 8.

6.2 Environmental precautions
Do not let product enter drains.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up
Pick up and arrange disposal without creating dust. Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.

6.4 Reference to other sections
For disposal see section 13.

SECTION 7: Handling and storage

7.1 Precautions for safe handling
Avoid contact with skin and eyes. Avoid formation of dust and aerosols.
Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed.Normal measures for preventive fire protection.
For precautions see section 2.2.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities
Store in cool place. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.

7.3 Specific end use(s)
A part from the uses mentioned in section 1.2 no other specific uses are stipulated

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1 Control parameters

Components with workplace control parameters
Contains no substances with occupational exposure limit values.

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls
Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Wash hands before breaks and at the end of workday.

Personal protective equipment

Eye/face protection
Safety glasses with side-shields conforming to EN166 Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin protection
Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

The selected protective gloves have to satisfy the specifications of EU Directive 89/686/EEC and the standard EN 374 derived from it.

Full contact
Material: Nitrile rubber
Minimum layer thickness: 0.11 mm
Break through time: 480 min
Material tested:Dermatril® (KCL 740 / Aldrich Z677272, Size M)

Splash contact
Material: Nitrile rubber
Minimum layer thickness: 0.11 mm
Break through time: 480 min
Material tested:Dermatril® (KCL 740 / Aldrich Z677272, Size M)

data source: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, phone +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, test method: EN374
If used in solution, or mixed with other substances, and under conditions which differ from EN 374, contact the supplier of the CE approved gloves. This recommendation is advisory only and must be evaluated by an industrial hygienist and safety officer familiar with the specific situation of anticipated use by our customers. It should not be construed as offering an approval for any specific use scenario.

Body Protection
Complete suit protecting against chemicals, The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Respiratory protection
For nuisance exposures use type P95 (US) or type P1 (EU EN 143) particle respirator.For higher level protection use type OV/AG/P99 (US) or type ABEK-P2 (EU EN 143) respirator cartridges. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

Control of environmental exposure
Do not let product enter drains.

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1 Information on basic physical and chemical properties

a)	Appearance	Form: powder Colour: dark green
b)	Odour	no data available
c)	Odour Threshold	no data available
d)	pH	no data available
e)	Melting point/freezing point	Melting point/range: 190 °C
f)	Initial boiling point and boiling range	no data available
g)	Flash point	no data available
h)	Evapouration rate	no data available
i)	Flammability (solid, gas)	no data available
j)	Upper/lower flammability or explosive limits	no data available

k)	Vapour pressure	no data available
l)	Vapour density	no data available
m)	Relative density	no data available
n)	Water solubility	soluble
o)	Partition coefficient: n-octanol/water	no data available
p)	Auto-ignition temperature	no data available
q)	Decomposition temperature	no data available
r)	Viscosity	no data available
s)	Explosive properties	no data available
t)	Oxidizing properties	no data available

9.2 Other safety information
no data available

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1 Reactivity
no data available

10.2 Chemical stability
Stable under recommended storage conditions.

10.3 Possibility of hazardous reactions
no data available

10.4 Conditions to avoid
no data available

10.5 Incompatible materials
Strong oxidizing agents

10.6 Hazardous decomposition products
Other decomposition products - no data available
In the event of fire: see section 5

SECTION 11: Toxicological information

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity
no data available

Skin corrosion/irritation
no data available

Serious eye damage/eye irritation
no data available

Respiratory or skin sensitisation
no data available

Germ cell mutagenicity
no data available

Carcinogenicity

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

Reproductive toxicity
no data available

Specific target organ toxicity - single exposure
Inhalation - May cause respiratory irritation.

Specific target organ toxicity - repeated exposure
no data available

Aspiration hazard
no data available

Additional Information
RTECS: SP5740000

Absorption into the body leads to the formation of methemoglobin which in sufficient concentration causes cyanosis. Onset may be delayed 2 to 4 hours or longer., Vomiting, Diarrhoea, To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

SECTION 12: Ecological information

12.1 Toxicity
no data available

12.2 Persistence and degradability
no data available

12.3 Bioaccumulative potential
no data available

12.4 Mobility in soil
no data available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment
PBT/vPvB assessment not available as chemical safety assessment not required/not conducted

12.6 Other adverse effects

no data available

SECTION 13: Disposal considerations

13.1 Waste treatment methods

Product
Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company. Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material. Dissolve or mix the material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber.

Contaminated packaging
Dispose of as unused product.

SECTION 14: Transport information

14.1 UN number

ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -

14.2 UN proper shipping name

ADR/RID:	Not dangerous goods
IMDG:	Not dangerous goods
IATA:	Not dangerous goods

14.3 Transport hazard class(es)

ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -

14.4 Packaging group

ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -

14.5 Environmental hazards

ADR/RID: no	IMDG Marine pollutant: no	IATA: no

14.6 Special precautions for user
no data available

SECTION 15: Regulatory information

This safety datasheet complies with the requirements of Regulation (EC) No. 1907/2006.

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

no data available

15.2 Chemical Safety Assessment

For this product a chemical safety assessment was not carried out

SECTION 16: Other information

Full text of H-Statements referred to under sections 2 and 3.

Acute Tox.	Acute toxicity
Eye Irrit.	Eye irritation
H302	Harmful if swallowed.
H315	Causes skin irritation.
H319	Causes serious eye irritation.
H335	May cause respiratory irritation.
Skin Irrit.	Skin irritation

Full text of R-phrases referred to under sections 2 and 3

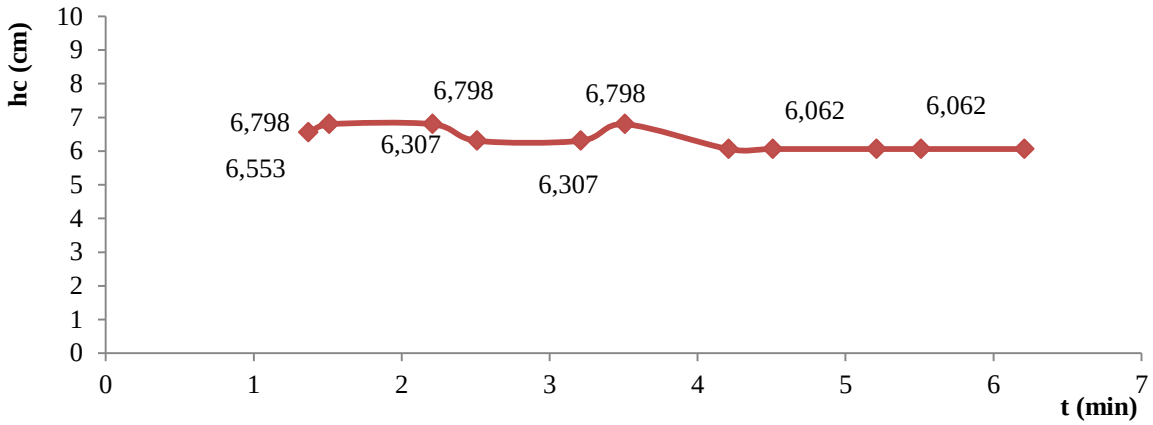
Xn	Harmful
R22	Harmful if swallowed.
R36/37/38	Irritating to eyes, respiratory system and skin.

Further information

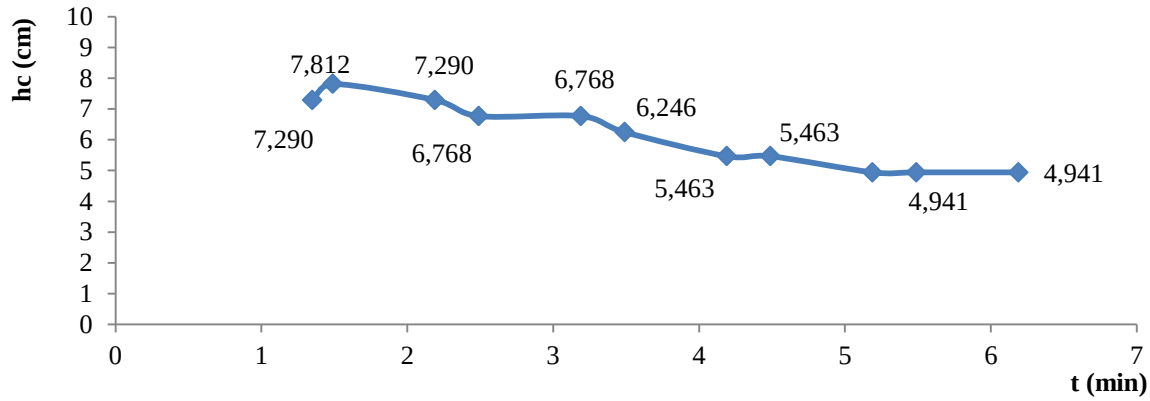
Copyright 2013 Sigma-Aldrich Co. LLC. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Corporation and its Affiliates shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See www.sigma-aldrich.com and/or the reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

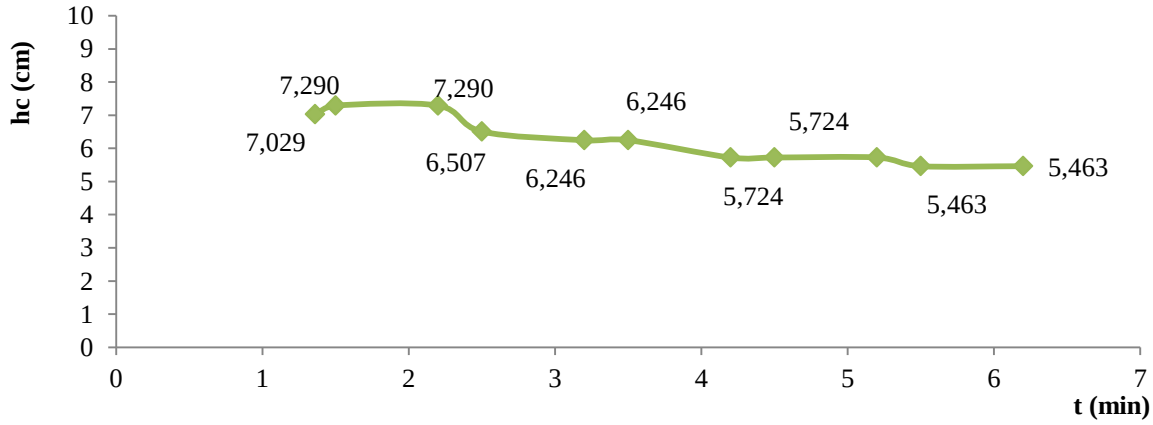
Anexo III – Relação entre tempo e altura de água na cobertura



(a)

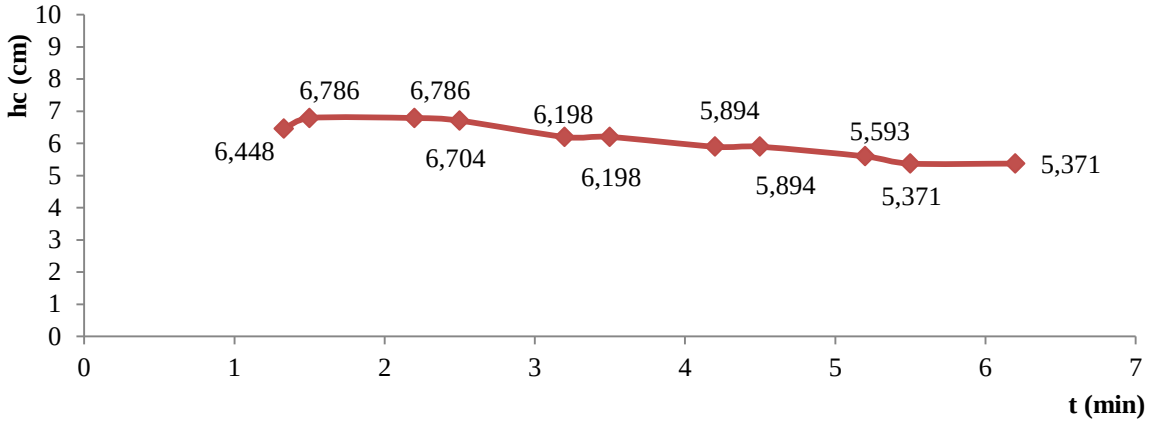


(b)

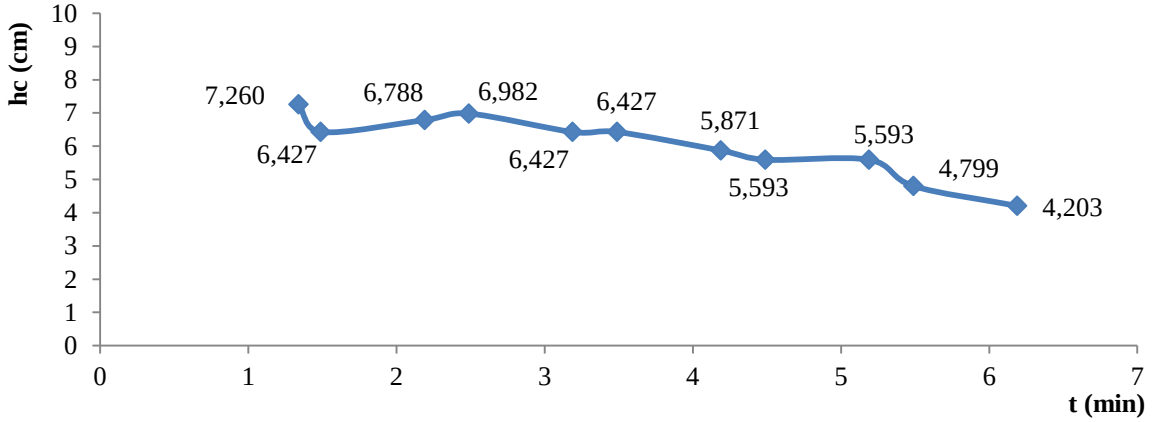


(c)

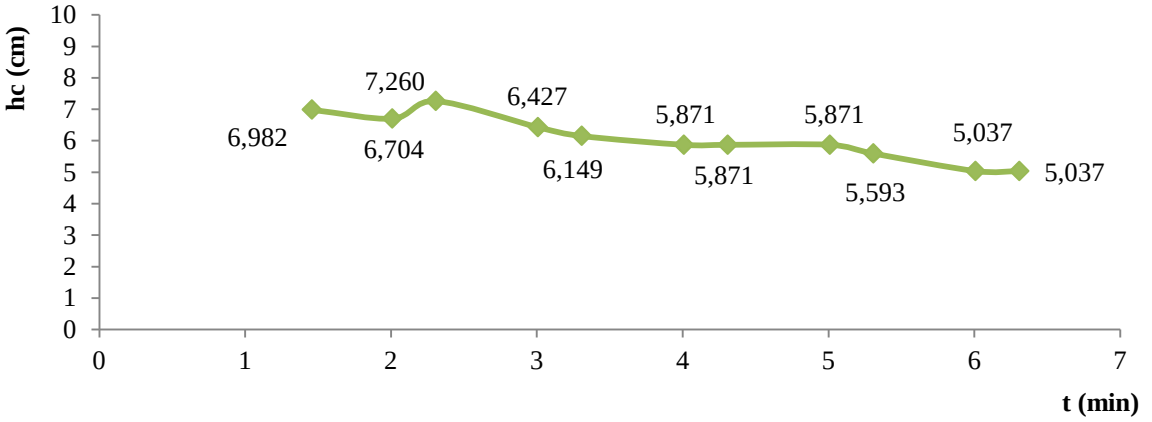
Figura AIII.1 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 2.1, (b) 2.2, (c) 2.3



(a)

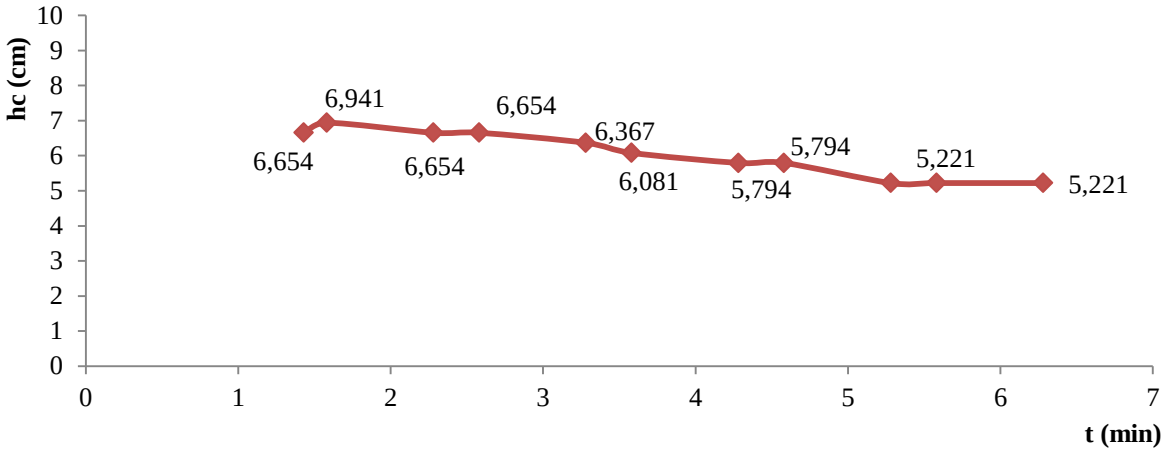


(b)

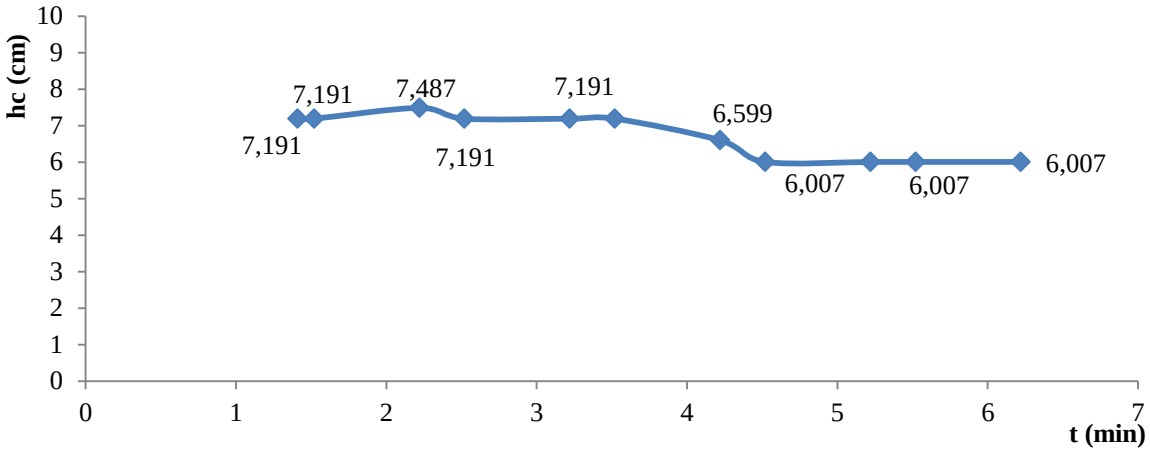


(c)

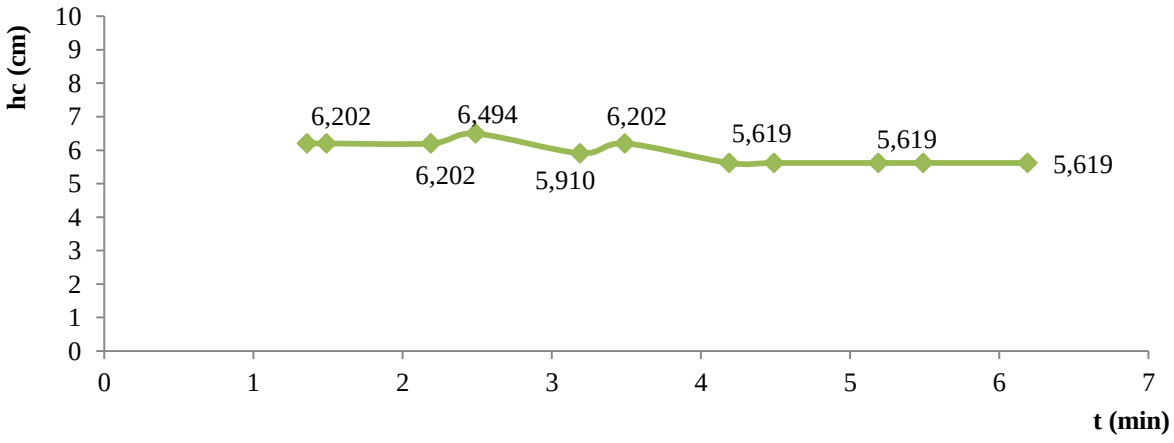
Figura AIII.2 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 3.1, (b) 3.2, (c) 3.3



(a)

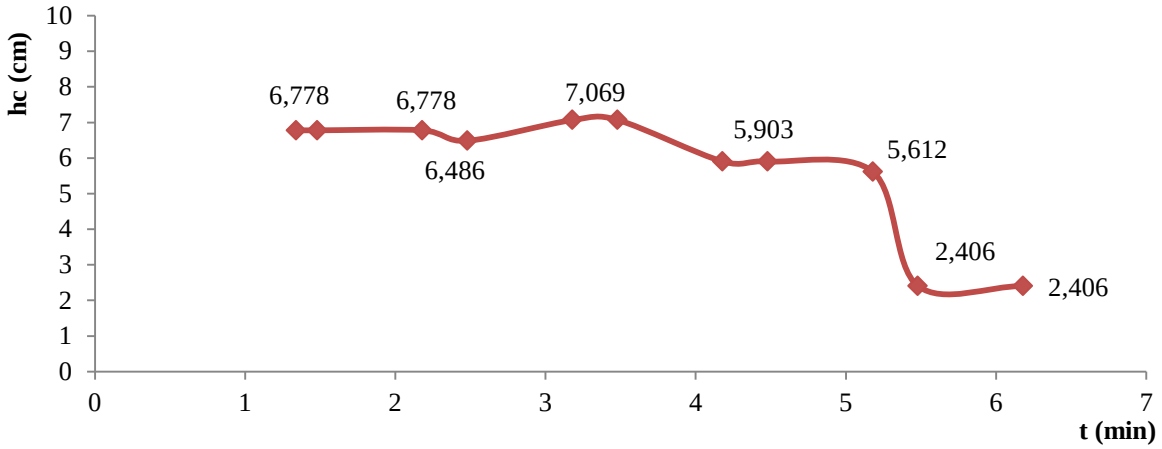


(b)

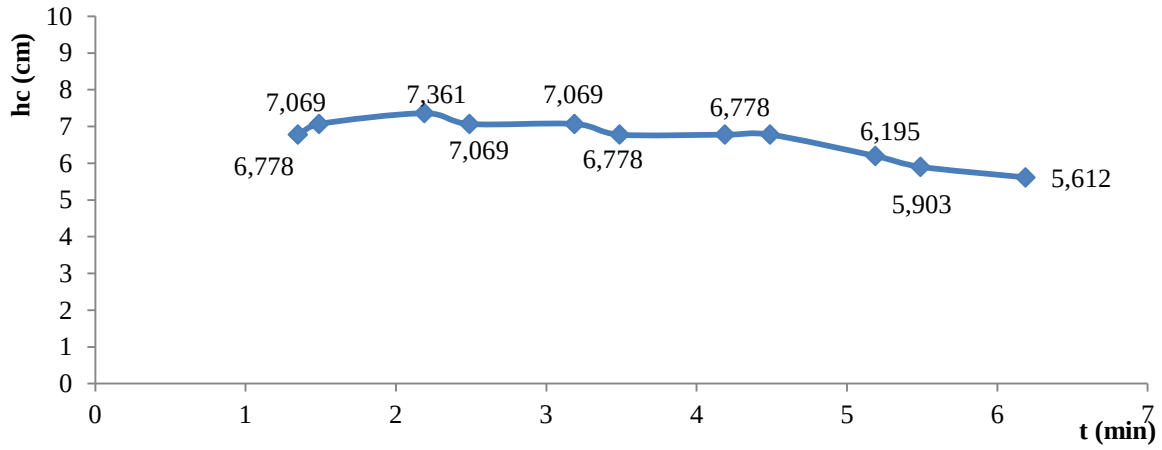


(c)

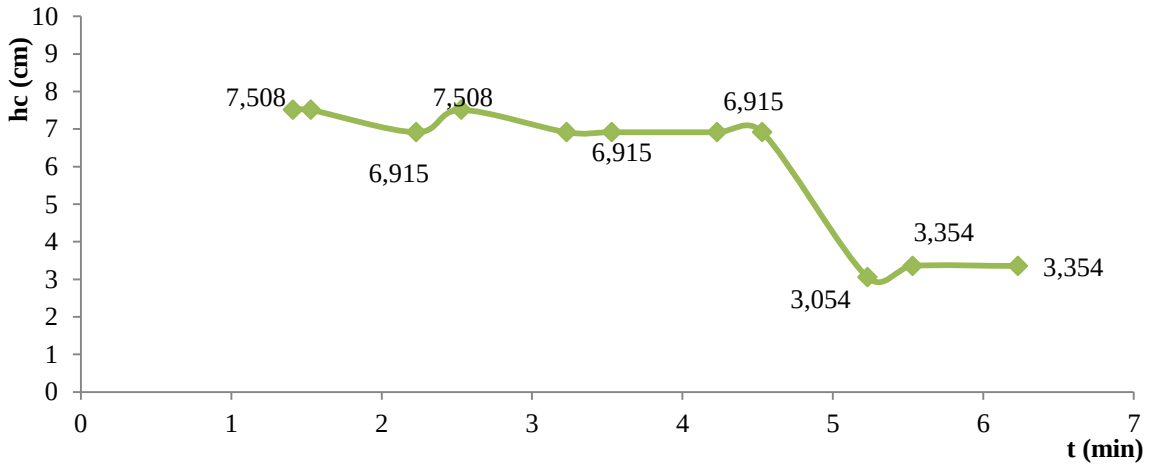
Figura AIII.3 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 4.1, (b) 4.2, (c) 4.3



(a)

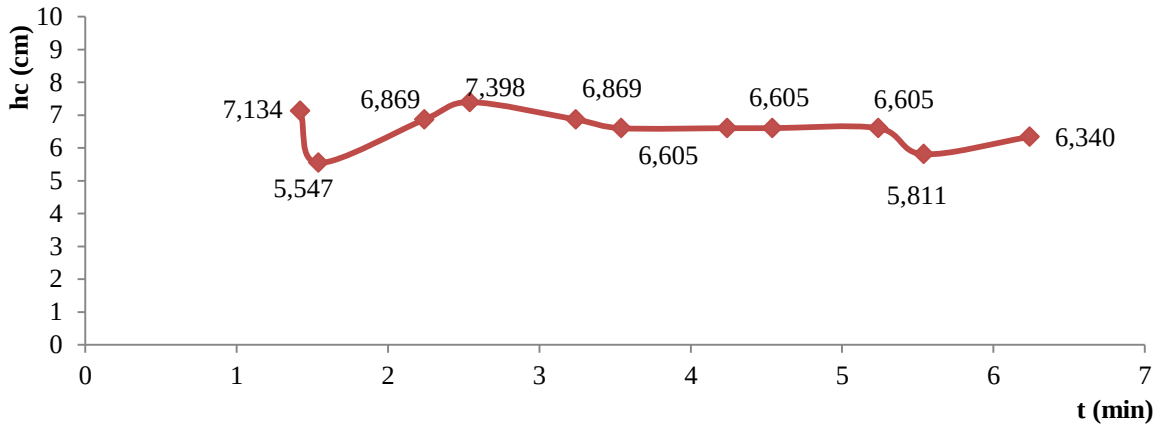


(b)

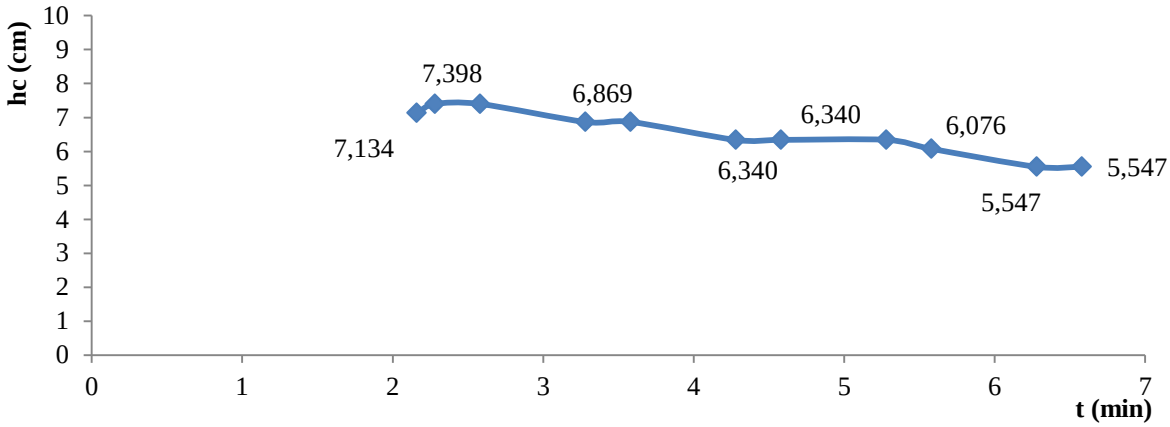


(c)

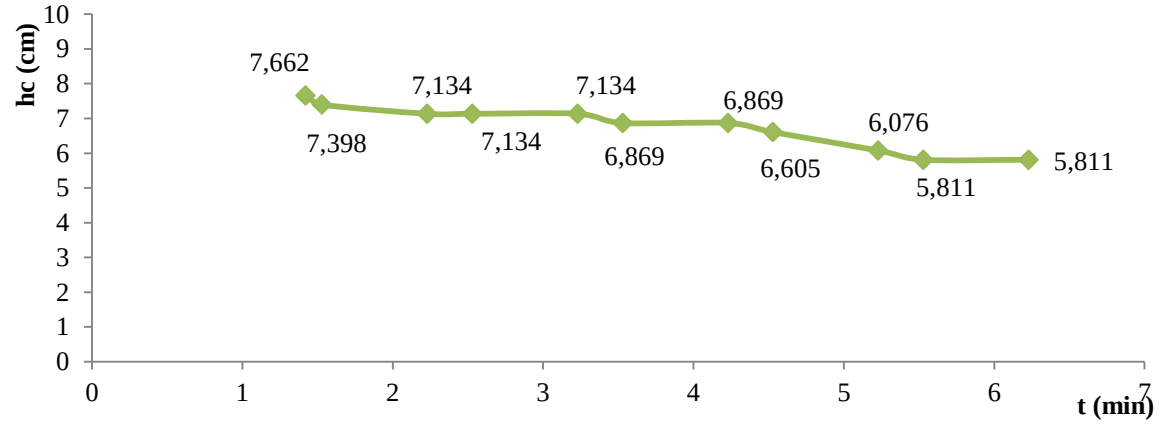
Figura AIII.4 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 5.1, (b) 5.2, (c) 5.3



(a)

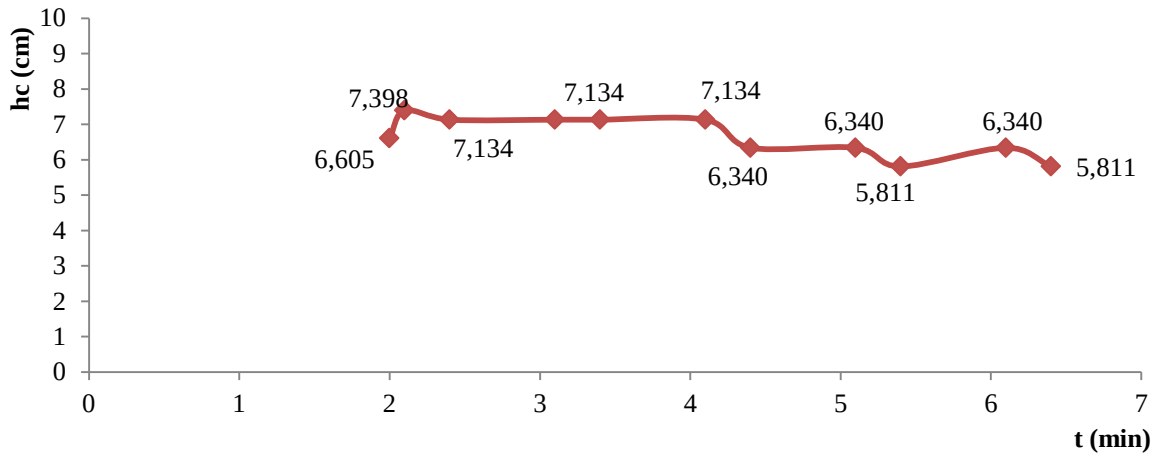


(b)

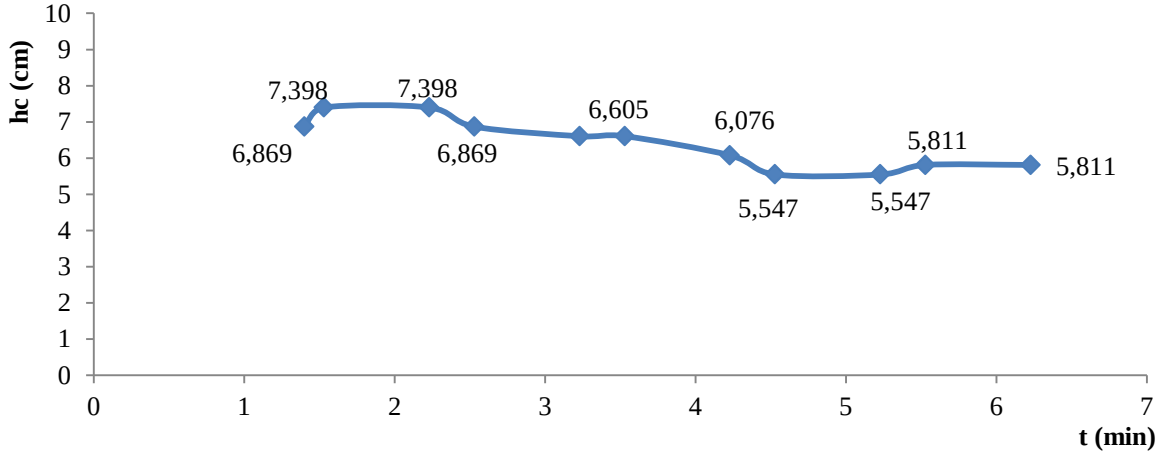


(c)

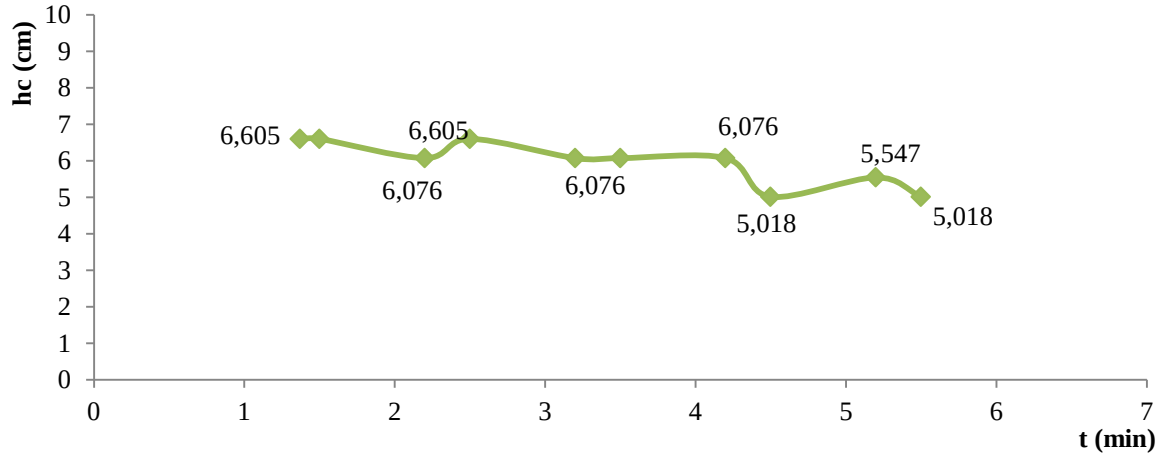
Figura AIII.5 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 6.1, (b) 6.2, (c) 6.3



(a)

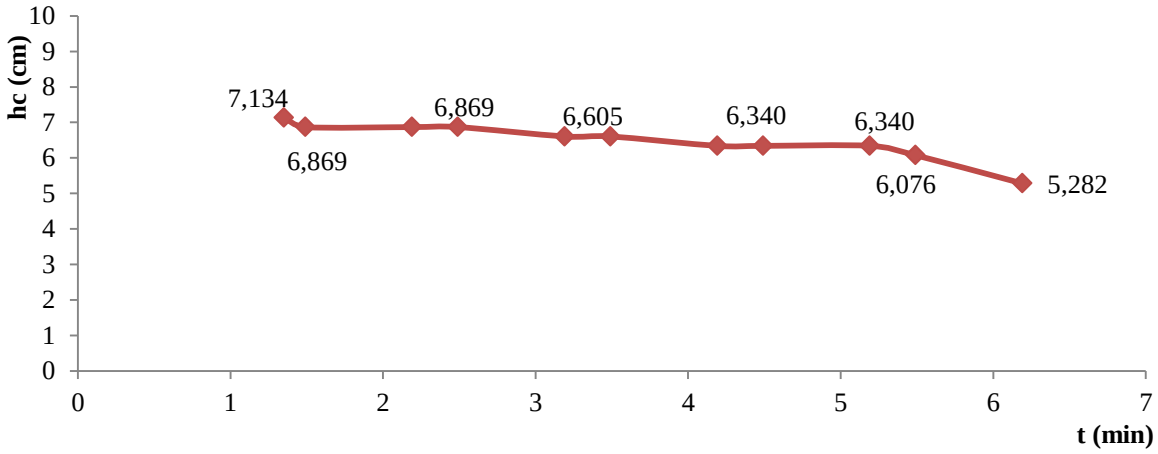


(b)

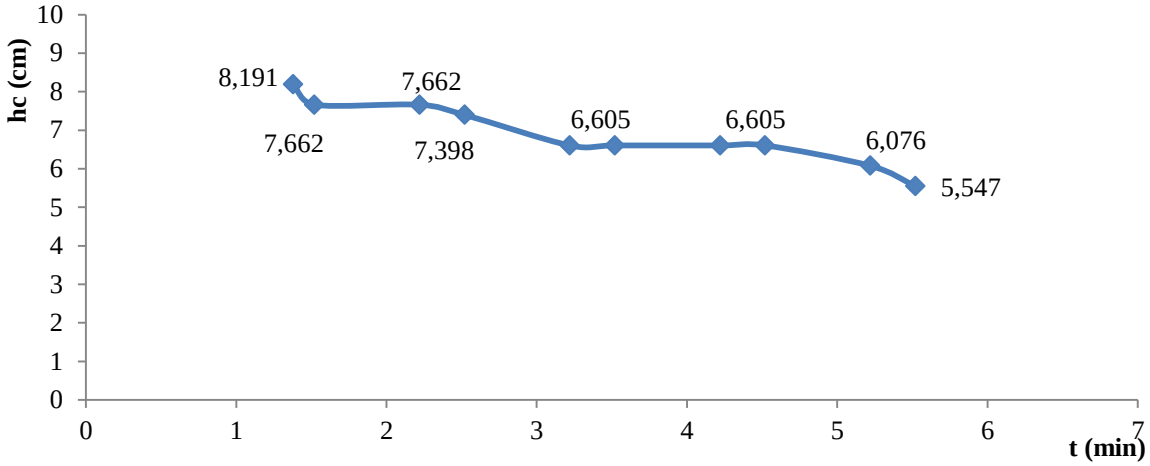


(c)

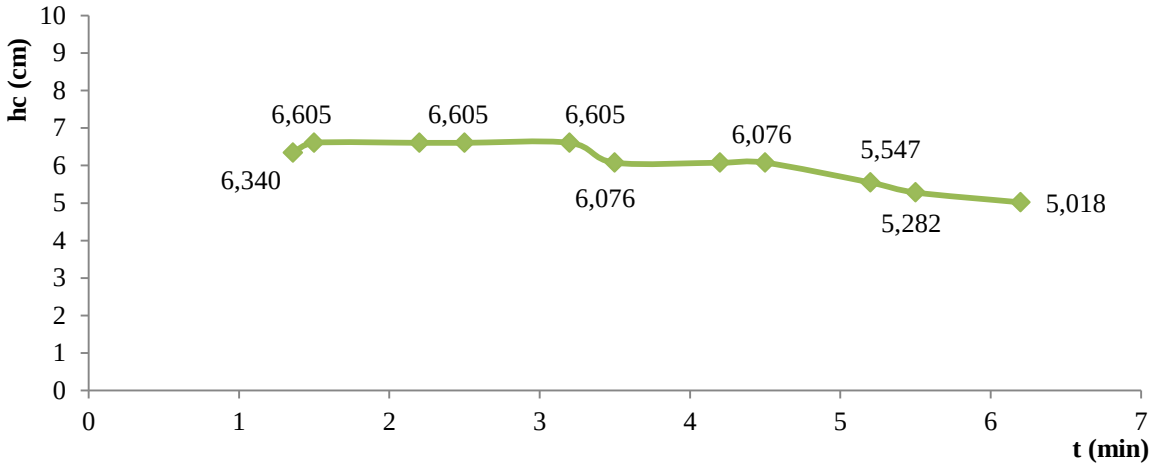
Figura AIII.6 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 7.1, (b) 7.2, (c) 7.3



(a)

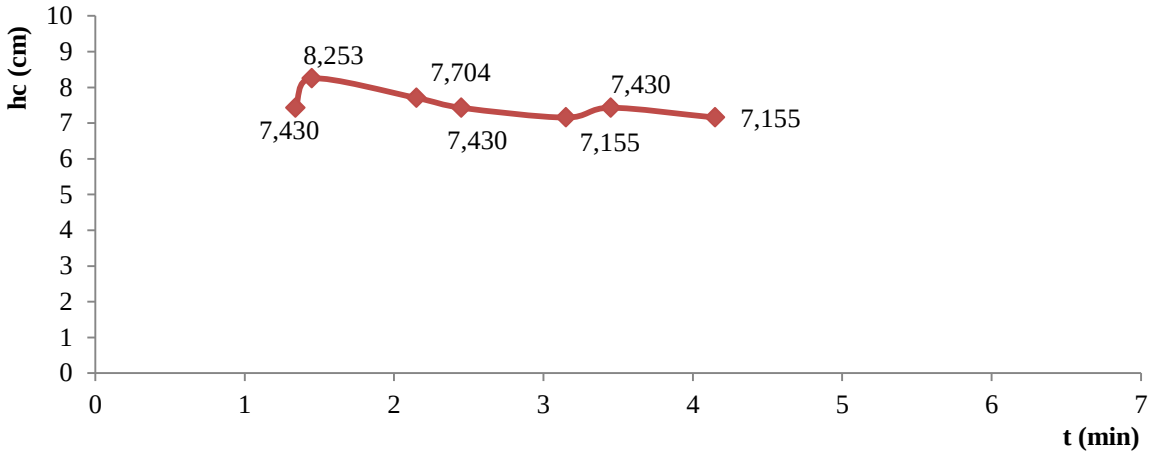


(b)

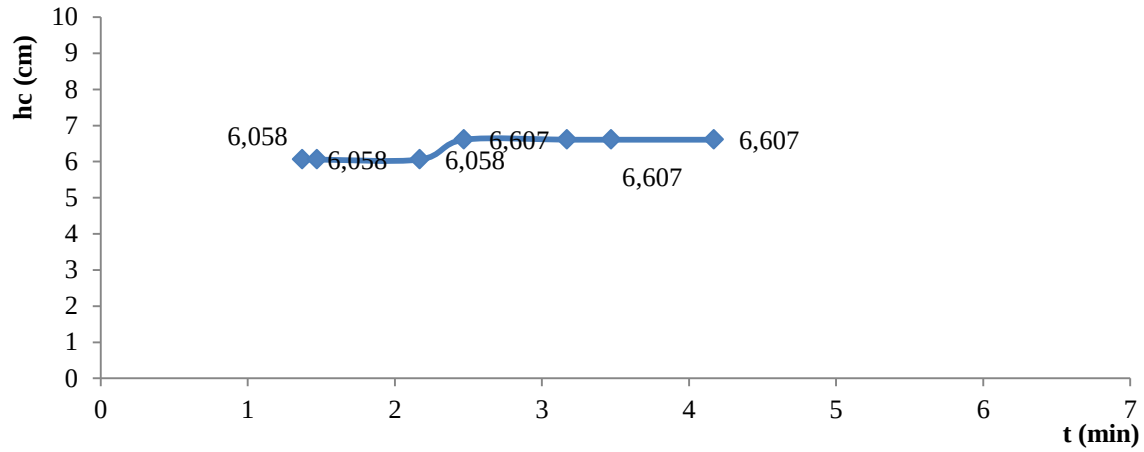


(c)

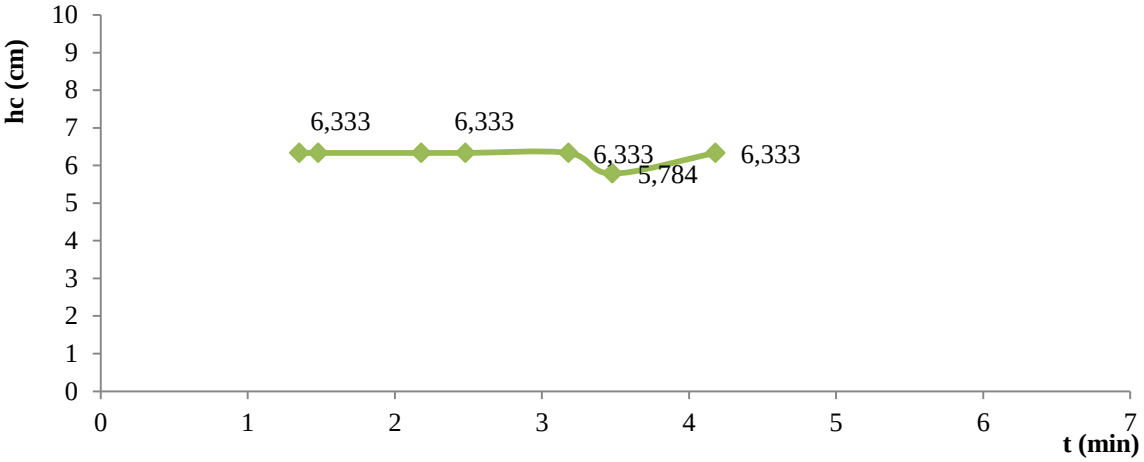
Figura AIII.7 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 8.1, (b) 8.2, (c) 8.3



(a)

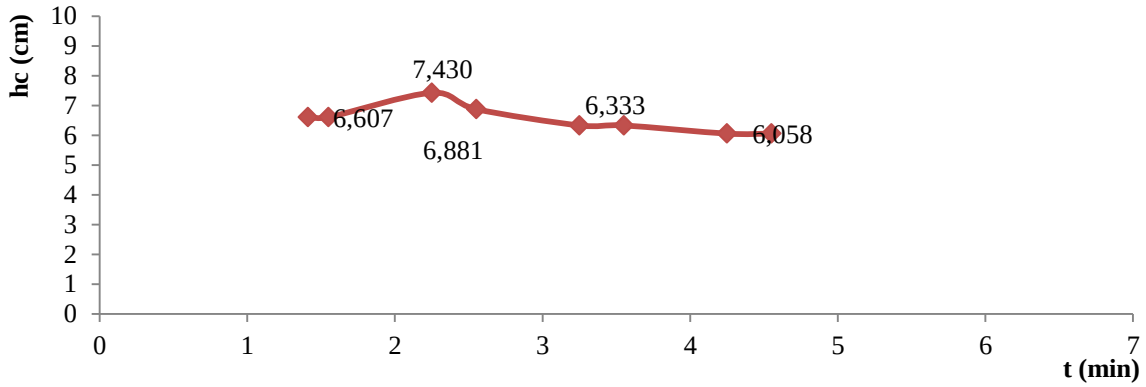


(b)

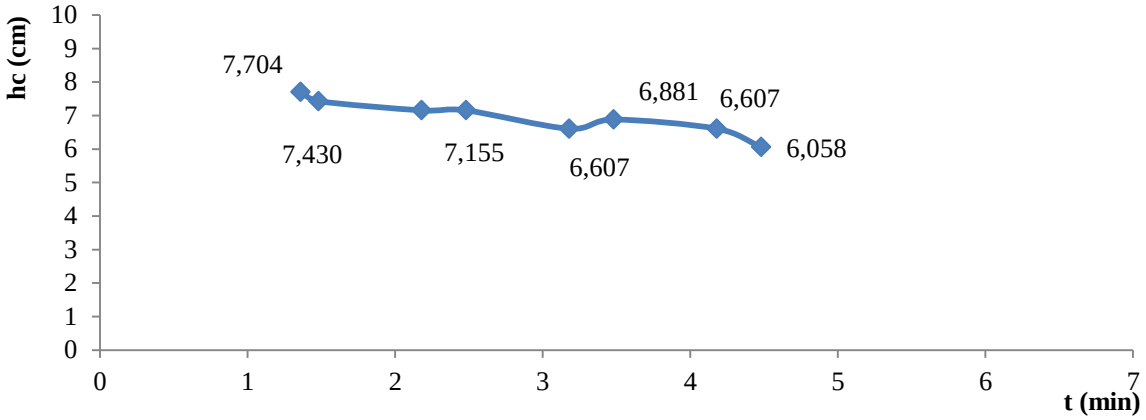


(c)

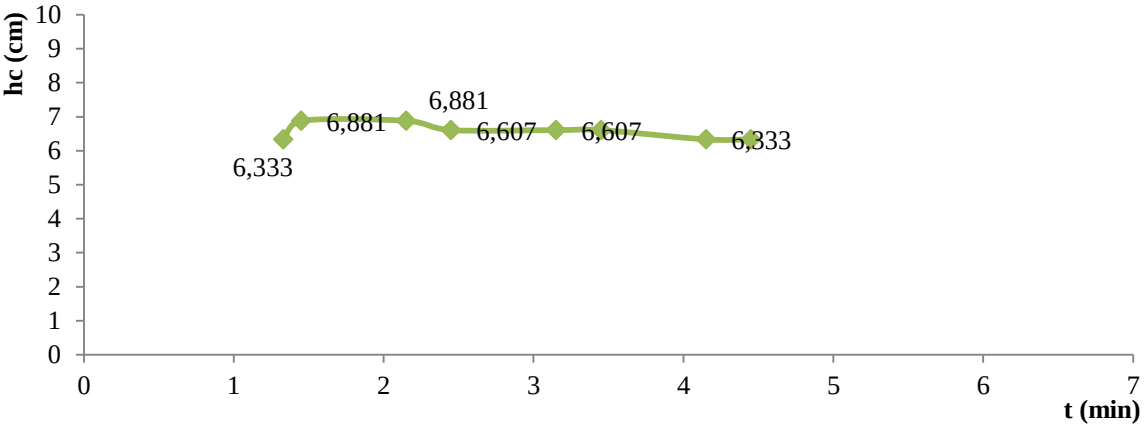
Figura AIII.8 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 9.1, (b) 9.2, (c) 9.3



(a)

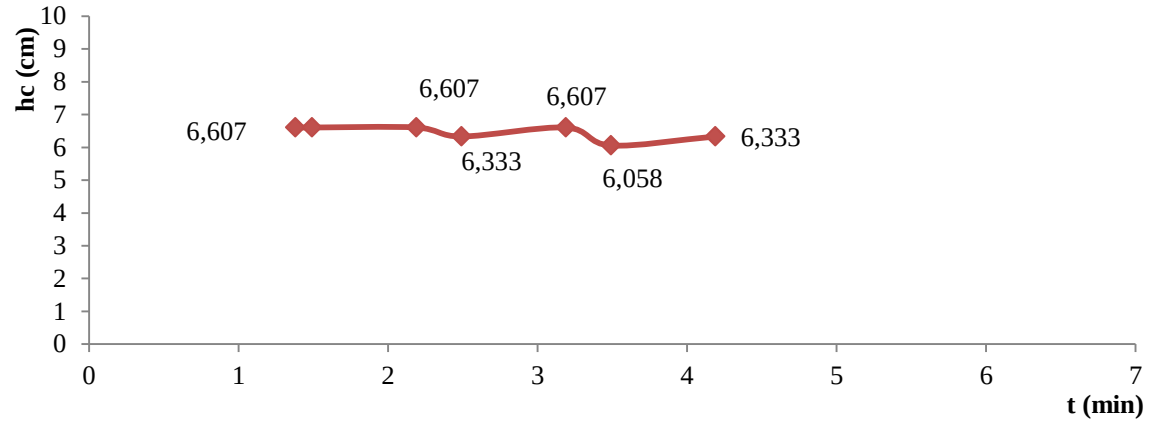


(b)

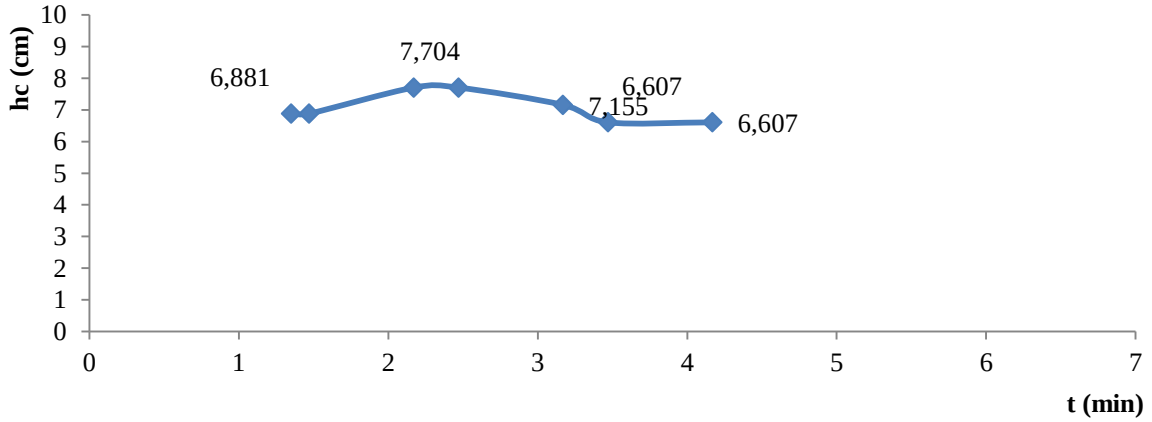


(c)

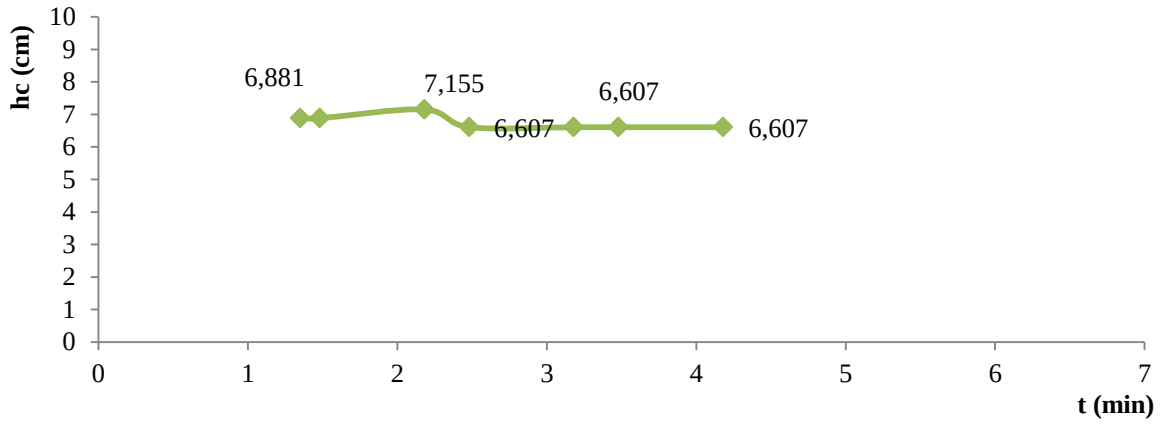
Figura AIII.9 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 10.1, (b) 10.2, (c) 10.3



(a)



(b)



(c)

Figura AIII.10 – Variação temporal da altura de água na cobertura, no caso das experiências (a) 11.1, (b) 11.2, (c) 11.3