

Fábio José Xavier Carvalho

COBERTURAS VERDES: ESTUDO EXPERIMENTAL DA CAPACIDADE DE DRENAGEM DE ÁGUA NO AGLOMERADO DE CORTIÇA EXPANDIDA

GREEN ROOFS: EXPERIMENTAL STUDY OF THE WATER DRAINAGE CAPACITY IN THE EXPANDED CORK AGGLOMERATE

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil
na Especialidade de Construções

Coimbra, Fevereiro de 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



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

Coberturas verdes: estudo experimental da capacidade de drenagem de água no aglomerado de cortiça expandida

Green roofs: experimental study of the water drainage capacity in the expanded cork agglomerate

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções

Autor

Fábio José Xavier Carvalho

Orientadores

Professor Doutor Nuno Albino Vieira Simões (UC)

Professor Doutor António José Barreto Tadeu (UC)

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

Com a colaboração:



Coimbra, Fevereiro, 2017

*Esta dissertação é dedicada aos meus pais, José Carvalho e Adélia Xavier.
Por tudo aquilo que são e por tudo aquilo em que me ajudaram a tornar.
Obrigado.*

AGRADECIMENTOS

Aos Professores, Nuno Simões e António Tadeu, pela orientação prestada ao longo desta dissertação. Em especial ao professor Nuno Simões por toda a ajuda, colaboração e tempo despendido neste trabalho.

Ao Arquiteto Ricardo Almeida, por toda a entreatada, auxílio e orientação na campanha experimental. A toda a equipa do Itecons, que de uma forma ou de outra contribuíram para este trabalho, principalmente ao Sr. Carlos que me auxiliou nos ensaios em laboratório.

Aos meus amigos e colegas que me acompanharam ao longo do curso. Ao meu amigo e colega de casa Rodrigo Esteves por toda a paciência e camaradagem dada ao longo deste período.

Aos meus pais, José Carvalho e Adélia Xavier, à minha irmã Carina Carvalho, ao meu afilhado Xavier, aos meus avós e a toda a minha família que me apoiou incondicionalmente.

Um especial agradecimento à minha namorada Daniela Vassal por todo o apoio, paciência e sobretudo companheirismo na realização da dissertação e ao longo de todo o curso.

O presente trabalho teve o apoio do Portugal 2020 através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020), através dos projetos com as referências POCI-01-0247-FEDER- 003393 (green URBANLIVING) e POCI-01-0145-FEDER-016852.

RESUMO

Em busca de um mundo mais sustentável, tem-se procurado utilizar tecnologias alternativas às tradicionais, de modo a minimizar o impacto ambiental e tornar o nosso planeta cada vez mais ecológico.

As coberturas verdes constituem uma alternativa em relação às coberturas tradicionais como uma forma de otimizar a sustentabilidade dos meios urbanos. Entre as inúmeras vantagens das coberturas verdes, é importante salientar o contributo na poupança energética em climatização, conforto térmico e acústico, redução de gastos em infraestruturas para águas pluviais, melhoria da qualidade do ar, redução do efeito de ilha de calor em zonas urbanas, criação de habitats para a fauna e flora e criação de espaços verdes ao ar livre para lazer.

Sucintamente uma cobertura verde é constituída por: estrutura de suporte, sistema de impermeabilização, isolamento térmico, camada drenante, camada filtrante, substrato e espécies vegetais.

Neste trabalho dá-se especial atenção à camada drenante, realizando-se uma campanha experimental, para analisar a capacidade drenante do aglomerado de cortiça expandida (ICB), através da qual se pretende avaliar a viabilidade enquanto substituto das soluções correntes no mercado da construção. Para tal, definiram-se procedimentos de ensaio para drenagem horizontal e para a drenagem vertical, assim como medições de caudal para diferentes tipos de solução.

PALAVRAS-CHAVE: coberturas verdes, sustentabilidade, retenção de água, drenagem, aglomerado de cortiça expandida.

ABSTRACT

In search of a more sustainable planet, has been sought to use alternative technologies in a way of reducing the environmental impact and transform our planet in a world more ecological than already is today.

Green roofs form an alternative to the traditional roofs, as a way of optimize the sustainability in urban environments. Of the many advantages of green roofs, its important to refer the contribution to conditioning energetic savings, termic and acoustic confort, rainwater infra structures cost reducions, better air quality, heat island effect reducion in urban áreas and open air green spaces creation, to recreation activities.

Briefly, a green roof is constituted by: support structures, impermeabilization system, thermal isolation, drainage layer, filtration layer, substracte and vegetal species.

In this project, there are a special atencion refering to the drainage layer, by doing an experimental campaign to analyse the drainage capacity of the expanded insulation cork board (ICB). Which is supposed to evaluate the viability of the ICB as a substitute of the current layers solutions in the construction market. Therefore, has been defined test procedures to horizontal drainage and to vertical drainage, well as measurements to different kinds of solutions.

Keywords: Green roofs, Sustainability, water retention, water drainage, ICB.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da dissertação	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Considerações gerais.....	4
2.2 Constituição geral de uma cobertura verde.....	5
2.3 Tipos de coberturas verdes.....	8
2.3.1 Cobertura verde extensiva.....	8
2.3.2 Cobertura verde intensiva.....	9
2.3.3 Soluções intensivas simples	10
2.4 Benefícios das coberturas verdes	10
2.5 Barreiras e desvantagens da instalação de coberturas verdes	13
2.6 Aglomerado de cortiça expandida (ICB)	13
2.7 Precipitação em Portugal	15
3 CAMPANHA EXPERIMENTAL.....	17
3.1 Âmbito	17
3.2 Organização da campanha experimental	18
3.2.1 Ensaio de drenagem vertical.....	18
3.2.2 Ensaio de drenagem horizontal	19
3.3 Procedimento de ensaio para drenagem vertical.....	20
3.3.1 Princípio	20
3.3.2 Equipamento e materiais	20
3.3.3 Condicionamento das amostras	21
3.3.4 Provetes de ensaio	21
3.3.5 Procedimento experimental.....	25
3.3.6 Tratamento dos resultados.....	26
3.4 Procedimento de ensaio para drenagem horizontal	28
3.4.1 Princípio	28
3.4.2 Equipamentos e materiais.....	29

3.4.3	Condicionamento	29
3.4.4	Provetes	29
3.4.5	Procedimento experimental	31
3.4.6	Tratamento dos resultados	32
4	RESULTADOS	33
4.1	Resultados do procedimento de ensaio para drenagem vertical	33
4.1.1	ICB	33
4.1.2	Drenante convencional	43
4.1.3	Sistema completo com ICB	45
4.1.4	Sistema completo com drenante convencional	52
4.2	Síntese dos resultados de drenagem vertical	54
4.3	Resultados do procedimento de ensaio para drenagem horizontal	58
4.3.1	STD50	58
4.3.2	FD-25-E	59
4.3.3	Solução ICB MD50 “bar code”	60
4.3.4	Solução ICB STD50 com ranhuras	62
4.4	Síntese dos resultados de drenagem horizontal	63
5	CONCLUSÕES	65
5.1	Principais conclusões	65
5.2	Propostas de trabalhos futuros	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	ANEXOS	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Desde a revolução Industrial (século XVIII), o processo de poluição do nosso planeta tem sido relativamente rápido e representado um grande problema para a humanidade. Problemas como a degradação e contaminação dos ecossistemas, perda de biodiversidade, esgotamento de recursos e o aquecimento global, tem sido das principais preocupações descritas em planos e programas de ações de organismos nacionais e internacionais. A luta pela preservação do meio ambiente é assim uma causa cada vez com mais impacto na sociedade. O sector da construção é um dos sectores mais poluentes que além de consumir cerca de 40% dos materiais produzidos pela industria mundial, é responsável pela emissão de 40 a 50% de gases com efeito estufa, bem como dos principais agentes constituintes das chuvas acidas (Rivela *et al*, 2012). Posto isto, é fundamental tornar este setor o mais sustentável possível, tendo já sido desenvolvidas inúmeras políticas para garantirem que a construção reduza os impactos ambientais. A aposta numa construção mais ecológica, o aproveitamento de resíduos, são exemplos de estratégias a seguir.

Atendendo que os maiores impactos ambientais estão concentrados nos meios urbanos, é essencial procurar alternativas para a mitigação destes problemas. Neste contexto, o edifício para além da energia gasta na fase de construção, é na fase de uso que causa o maior impacto ambiental, associado à energia utilizada na sua operação, nomeadamente na climatização. Estratégias de otimização do desempenho térmico dos edifícios ganham importante relevo, contribuindo para a resolução deste problema. Outros aspetos prejudiciais característicos dos edifícios são o uso de materiais pouco ecológicos na sua construção, nomeadamente materiais não renováveis, materiais de curta duração com uma vida útil curta e materiais incorporando muita energia.

As coberturas verdes surgem como uma alternativa, mais sustentável e ecológica comparativamente às coberturas convencionais, podendo beneficiar especialmente os meios urbanos. A redução drástica de áreas verdes que caracterizam o crescimento das cidades pode ser mitigada com a introdução deste tipo de coberturas. Entre inúmeras vantagens das coberturas verdes, destacam-se: isolamento térmico, retenção de energia, isolamento acústico, redução de gastos em infraestruturas para recolha de águas pluviais, melhoria da qualidade do ar, redução do efeito de ilha de calor em zonas urbanas, criação de habitats para a fauna e flora e criação de espaços verdes para a cultura do lazer ao ar livre (Carter et al, 2008). O conceito

de cobertura verde não é recente e já tem vindo a ser implementado em Portugal, assumindo já algum peso no norte e noroeste da Europa, bem como, na América do Norte, sendo previsível um crescimento da sua aplicação devido aos benefícios que garantem (Rivela *et al*, 2012).

Numa tentativa de tornar o conceito de cobertura verde ainda mais sustentável e ecológico, nesta dissertação é estudada a viabilidade da utilização do aglomerado de cortiça expandida (ICB), como uma alternativa às telas drenantes e de retenção atualmente utilizadas como soluções correntes destas coberturas.

O ICB é um material 100% natural e renovável, atualmente já utilizado em coberturas verdes com a função de isolamento térmico, acústico e antivibrático. Neste trabalho avalia-se a possibilidade de utilizar esta camada para que cumpra em simultâneo a função de camada de isolamento, camada drenante e de retenção. Como a capacidade drenante e retenção de água são aspetos fundamentais, esta dissertação centra-se nestes aspetos. Para este efeito foi levada a cabo uma campanha experimental com vários tipos de ICB.

1.2 Objetivos

Com esta dissertação, numa fase inicial, pretendem-se rever alguns conceitos teóricos sobre a temática das coberturas verdes, nomeadamente a constituição das mesmas e fazer-se a distinção entre os vários tipos mais comuns e analisarem-se os prós e os contras da aplicação do conceito. Pretendem-se também analisar as características do ICB e recolher-se informação acerca da precipitação, em particular em Portugal, para que seja possível analisar criticamente a capacidade drenante do ICB.

Na segunda parte do trabalho apresenta-se o estudo experimental do desempenho do ICB. De uma forma geral, pretende-se estudar a capacidade de drenagem de água em placas de aglomerado de cortiça com espessuras e densidades diferentes, bem como observar as diferenças entre a solução proposta e as soluções já aplicadas no mercado em coberturas verdes. Esta campanha pretende avaliar se o ICB fornece ao sistema um equilíbrio de drenagem versus retenção sem comprometer a capacidade de drenagem numa situação de elevada precipitação.

Para se cumprir este objetivo foi necessário:

- Definir procedimentos de ensaio;
- Conceber e preparar acessórios de ensaios e definir modos de medição e registo de resultados;
- Estabelecer formas de tratamento de resultados;
- Implementar e verificar os procedimentos de ensaio.

Esta abordagem foi seguida para dois tipos de ensaios: drenagem vertical de água através dos provetes e drenagem horizontal com simulação de chuva, com uma conceção próxima daquela a que as coberturas verdes são sujeitas.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos principais. Após este capítulo introdutório (Capítulo 1) onde se apresenta o enquadramento e os objetivos da dissertação, segue-se o Capítulo 2 onde se procede a uma revisão bibliográfica das matérias relevantes. Esta contempla a descrição dos aspetos essenciais das coberturas verdes. Será também abordada a distinção entre os tipos de coberturas existentes, os benefícios e as barreiras à instalação do método e por fim a caracterização da precipitação e do ICB.

No Capítulo 3 apresenta-se a campanha experimental onde é descrito o âmbito da campanha e o procedimento experimental. É neste capítulo que são definidos os procedimentos de ensaio, os tipos de provetes ensaiados e os diferentes ensaios realizados. De seguida, no Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos na campanha experimental e procede-se à análise global de resultados, onde se pode avaliar a viabilidade da proposta a nível de drenagem e de retenção de água.

Por fim, no Capítulo 5 apresentam-se as conclusões resultantes do trabalho efetuado e algumas propostas de futuros trabalhos que seriam interessantes e importantes realizarem-se com objetivo de compreender mais pormenorizadamente esta temática.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações gerais

Com o desenvolvimento urbano e industrial verificou-se o aumento da poluição e degradação do meio ambiente. A emissão de poluentes atmosféricos causa não só a poluição da atmosfera, bem como o desequilíbrio geral dos ecossistemas. Após a Cimeira da Terra de 1992 criaram-se planos que vão de encontro a práticas que apoiem um desenvolvimento sustentável. O sector da construção procura soluções mais ecológicas surgindo o conceito de “construção sustentável”, cuja definição internacionalmente aceite foi apresentada por Charles Kibert em 1994, que a define como a "criação de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos".

O conceito de cobertura verde pode ser visto simplesmente como a criação de espaços verdes sobre os edifícios. Encontram-se várias denominações possíveis tais como: coberturas ajardinadas, coberturas vivas, coberturas ecológicas entre outras. No entanto coberturas verdes é a denominação mais consensual e abrangente. Consoante o pretendido para o edifício este tipo de cobertura pode ser acessível ou de acesso limitado, podem apresentar jardins complexos e tratados ou vegetação mais simples e de maior resistência.

As coberturas verdes contribuem com inúmeros benefícios para o meio ambiente, sendo uma alternativa ecológica em relação às coberturas tradicionais. Os benefícios das coberturas verdes, dividem-se essencialmente em três principais vertentes: ecológicas, económicas e sociais. Ao nível da economia favorece a redução de energia gasta na climatização dos edifícios, reduz os caudais pluviais a drenar, através de retenção, diminuindo assim a dimensão dos dispositivos de recolha e aumentam a durabilidade da cobertura. A nível ecológico reduzem o efeito da “ilha de calor” e contribuem para a redução da poluição da atmosfera. Têm também um contributo importante no quotidiano da sociedade, uma vez que devolvem às cidades áreas verdes, propícias ao desenvolvimento de atividades ao ar livre.

2.2 Constituição geral de uma cobertura verde

Uma cobertura verde é constituída por várias camadas que asseguram o desempenho e funcionamento do sistema. As principais funções são de suporte, estanquidade aos agentes climáticos, drenagem de águas pluviais e condicionamento térmico e acústico do edifício. Para uma melhor perceção destas funções, expõe-se de seguida a constituição típica de uma cobertura verde (figura 2.1), identificando as várias camadas e especificando a contribuição de cada uma para o correto funcionamento deste sistema construtivo.

Como se pode observar na figura 2.1, os constituintes de uma cobertura verde são: suporte, camada de forma, camada de impermeabilização, isolamento térmico, camada drenante, filtro, substrato e espécies vegetais. Segue-se a definição e descrição da função de cada elemento deste sistema.

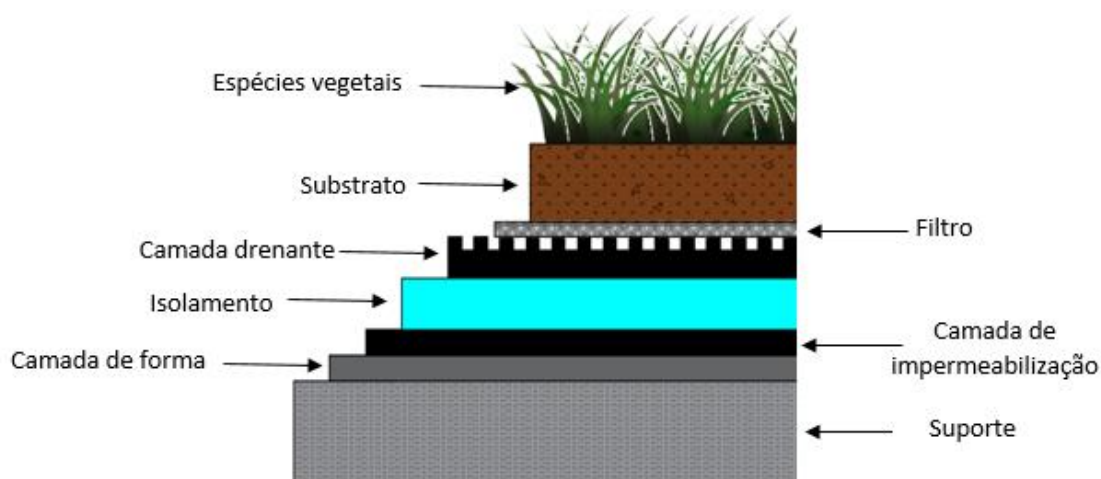


Figura 2.1- Componentes de uma cobertura verde

Suporte

Componente que serve de suporte à cobertura, composto por lajes e restantes elementos estruturais. Responsável pela resistência às ações mecânicas. Deve ser dimensionado consoante o tipo de cobertura, respeitando todas as sobrecargas que advêm do uso da mesma. Esta camada pode ser em betão armado, madeira ou, estrutura metálica, devendo-se ter em atenção a sobrecarga adicional da cobertura verde para não se comprometer a estabilidade da cobertura.

Camada de forma

Camada que se posiciona sobre o elemento de suporte, responsável por definir a pendente da cobertura. Esta deve adquirir uma inclinação não inferior a 2% de modo a garantir a drenagem das águas pluviais para os dispositivos adequados, evitando a inundação da cobertura e a

destruição de algumas das camadas sobrejacentes nomeadamente o substrato e as plantas. Ao nível de constituição é formada por materiais como betão leve ou betão celular.

Camada de impermeabilização

A camada de impermeabilização é dos constituintes mais importantes, responsável pela estanquidade à água. Para além de impedir a infiltração de água, impede também a penetração de raízes nos edifícios. Atualmente existem várias soluções de impermeabilização no mercado da construção, sendo mais utilizadas as soluções como membranas de betume, membranas líquidas e membranas de PVC. Com a expansão do conceito das coberturas verdes têm surgido novas soluções de mistura betuminosas que possuem na sua constituição a incorporação de um produto anti raízes. Este produto atua como uma barreira química, contrariamente às metodologias mais convencionais que combatem as raízes recorrendo a uma barreira mecânica, geralmente utilizando uma camada compacta de betão.

Isolamento

Este elemento é responsável pela redução das trocas de calor entre o interior e o exterior do edifício, com o intuito de causar conforto térmico aos seus utilizadores. Com base no posicionamento do isolamento, podemos classificar três tipos de coberturas: quentes, frias e invertidas. O método de cobertura quente é aquela em que o isolamento térmico é colocado por cima da camada de forma e por baixo da membrana impermeável; na cobertura fria o isolamento é colocado entre a estrutura da cobertura e a camada de forma; e, por último na cobertura invertida o isolamento encontra-se sobre a membrana impermeável.

Segundo o autor (Pinto, 2014) no dimensionamento do isolamento a utilizar, deve-se ter em consideração a espessura da camada de substrato, uma vez que a espessura do isolamento é inversamente proporcional à espessura da camada de terra vegetal adotada. Em coberturas verdes intensivas (maiores volumes de substrato) esta camada é dispensada, já que o substrato desempenha a função de isolamento térmico.

Camada drenante

Esta camada é responsável pela drenagem das águas pluviais que atravessam as três camadas que a ela se sobrepõem, nomeadamente, as plantas, substrato e o filtro. Este constituinte permite a drenagem do excesso de água até aos dispositivos de drenagem de águas pluviais, podendo ser reaproveitadas para um reservatório ou simplesmente expulsas do edifício por tubos de queda. Este processo é essencial para a conservação do sistema da cobertura, pois a acumulação de água na cobertura pode provocar excesso de peso na estrutura, bem como a inundação e destruição da vegetação na cobertura.

Atualmente no mercado existem várias soluções de camada drenante, sendo preferencialmente usados materiais leves em plástico ou borracha. Há ainda, a utilização de camadas de cascalho, argila expandida e gravilha.

Novas metodologias surgem para que esta camada desenvolva outro tipo de funções, nomeadamente, armazenamento de água, alargamento da zona de raízes e ventilação do sistema. Neste sentido, na campanha experimental (Capítulo 3) é testado a permeabilidade e a capacidade de retenção de água no ICB. No final deste capítulo (2.5) é feita uma exposição geral das características técnicas do ICB, de modo a perceber-se as vantagens da sua integração no sistema como drenante.

Filtro

Separa o substrato da camada drenante, geralmente é constituído por um geotêxtil, evitando que as partículas mais pequenas do substrato sejam arrastadas para o sistema drenante. Retendo também pequenas partículas e materiais orgânicos, que ficam disponíveis para as plantas.

Substrato

No dimensionamento da espessura desta camada é essencial ter em atenção o tipo de espécies vegetais previstas para a cobertura. Deve optar-se por um substrato técnico com uma boa drenagem e uma boa composição mineral de nutrientes. Existem vários substratos disponíveis no mercado, em que a sua escolha deve ter em consideração alguns critérios tais como: máxima retenção de água, permeabilidade de água, nutrientes disponíveis, dimensão do material orgânico, estabilidade estrutural, tamanho do grão e resistência aos agentes erosivos (Pinto, 2014).

Como principais funções para o sistema da cobertura verde, o substrato contribui como sendo o meio essencial para o suporte e sobrevivência das plantas e desenvolve também uma importante tarefa em termos de retenção de água.

Espécies vegetais

Por fim, à superfície, estão as espécies vegetais, cuja seleção varia em função do tipo de cobertura verde, respeitando a finalidade de utilização, a espessura de substrato adotada, as sobrecargas máximas suportadas pela estrutura, o clima local e a regularidade de manutenção prevista para a cobertura. A camada vegetal assume um importante papel na diminuição do caudal de águas pluviais, uma vez que as plantas retêm, absorvem a água da chuva, libertando-a através de transpiração e evaporação. Além disso, as plantas também protegem o substrato da lixiviação e da erosão, contribuem com sombreamento para o arrefecimento do edifício e servem ainda de habitat e alimento para alguns seres vivos.

2.3 Tipos de coberturas verdes

As coberturas verdes estão divididas em três grandes grupos, as extensivas, as intensivas e intensivas simples. Estes três grupos de coberturas verdes distinguem-se essencialmente pelo porte das espécies incorporadas no sistema e pela espessura da camada de substrato.

A escolha da cobertura a conceber deverá responder essencialmente à finalidade pretendida. No quadro 2.1 evidenciam-se as principais diferenças entre os tipos de coberturas verdes, bem como outros aspetos importantes na caracterização de cada tipologia de cobertura.

Quadro 2.1- Diferenças entre coberturas extensivas, intensivas e intensivas simples (adaptado de Rodrigues, 2010).

	Cobertura verde extensiva	Cobertura verde intensiva simples	Cobertura verde intensiva
Manutenção	Baixa	Reduzida	Alta
Altura do solo	Até 10cm	10 a 30cm	Superior a 30cm
Peso	Até 100 kg / m ²	100 a 300 kg / m ²	300 a 700 kg / m ²
Vegetação	Pequeno porte	Pequeno e médio porte	Pequeno, médio e grande porte
Custo	Baixo	Médio	Alto
Acessibilidade	Normalmente inacessível	Pode ser acessível	Normalmente acessível

2.3.1 Cobertura verde extensiva

As coberturas verdes extensivas, como vimos no quadro 2.1, são caracterizadas por uma menor espessura de substrato e por espécies vegetais integradas no clima local essencialmente de pequeno porte. Podemos definir esta tipologia de cobertura como um sistema que apresenta as características funcionais definidas no ponto 2.2, mas com algumas características específicas, nomeadamente, uma camada de substrato até 10 cm, vegetação rasteira com grande resistência às condições climáticas e baixa manutenção como musgos, relva e “*sedums*”, que são praticamente autossustentáveis. São coberturas normalmente inacessíveis e são caracterizadas por serem coberturas leves o que facilita a sua implementação em estruturas já existentes.

Como principais vantagens as coberturas extensivas destacam-se pelo baixo custo em relação às outras soluções, são eficientes na regulação térmica do edifício e também na retenção de águas pluviais.

As coberturas podem ser inclinadas (figura 2.2 a) ou planas (figura 2.2 b), devendo ter sempre uma inclinação superior a 2% para não comprometer a drenagem natural da água. Em condições de maior inclinação, deve-se ter em conta alguns procedimentos para evitar o deslizamento de terra e plantas.



a)



b)

Figura 2.2 – Imagens ilustrativas de coberturas extensivas com diferentes inclinações: a) inclinada, b) plana

2.3.2 Cobertura verde intensiva

O conceito de cobertura intensiva pode ser equiparado a um jardim sobre a cobertura como se pode verificar na figura 2.3, muitas vezes definido como cobertura ajardinada. Esta metodologia diverge da extensiva no sentido em que apresenta uma espessura de substrato muito maior podendo suportar plantas de grande porte, necessitando de uma estrutura mais resistente que deverá ser projetada consoante a finalidade esperada para a cobertura.

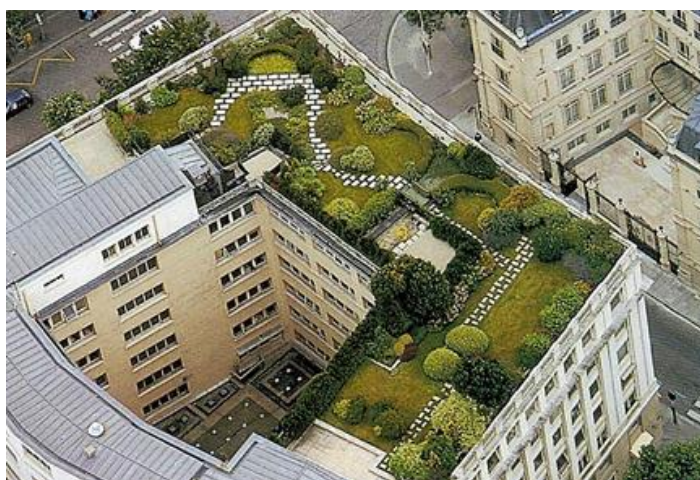


Figura 2.3- Exemplo de cobertura verde intensiva

A cobertura intensiva requer uma taxa de manutenção elevada, pois à semelhança de um jardim apresenta plantas que exigem maiores cuidados a nível de fertilização e rega. Normalmente acessível, criando um espaço de lazer ao ar livre e pode ter na sua constituição outros acessórios como bancos, mesas, caminhos e até fontes. Tendo em conta estes fatores, este tipo de cobertura é mais caro em relação às outras duas tipologias.

2.3.3 Soluções intensivas simples

Por fim, as coberturas intensivas simples correspondem a uma solução intermédia entre coberturas intensivas e extensivas (figura 2.4), frequentemente denominadas por soluções híbridas ou semi-intensivas.

Esta tipologia permite conjugar o melhor das duas soluções anteriores, podendo resultar de uma cobertura com flora de pequeno e médio porte, uma espessura intermédia de substrato e pode ser acessível. A nível de cálculo estrutural deve ser dimensionado em função da finalidade do espaço e das sobrecargas a que o espaço pode estar sujeito. Requer uma taxa de manutenção intermédia e apresenta também um custo intermédio. Em suma, esta solução é o equilíbrio entre as duas soluções anteriores.



Figura 2.4 – Exemplo de cobertura verde intensiva simples

2.4 Benefícios das coberturas verdes

As coberturas verdes contribuem beneficentemente para o meio ambiente e para os seres vivos. Podendo estar os benefícios divididos em três principais vertentes, ecológicas, económicas e sociais. Apresentam-se de seguida as principais vantagens das coberturas verdes.

Redução do efeito “ilha de calor”

A elevada concentração de edifícios e a elevada área impermeável, predominantemente constituídos por materiais com baixa refletividade retêm uma parte significativa da energia solar, aumentando assim a temperatura em grandes meios urbanos. As coberturas verdes contrariam este efeito, pois aumentam a área permeável e as plantas mantêm as coberturas mais “frescas” nos períodos quentes, devido ao efeito da evaporação da água durante o processo de fotossíntese, arrefecendo a área à sua volta. Contribuem assim para o melhoramento do clima dos grandes centros urbanos.

Retenção de águas pluviais e redução do escoamento superficial

Quando chove em meios urbanos, caracterizados por elevadas áreas impermeáveis constituídas por materiais como asfalto, betão e coberturas em telha, as águas pluviais são rapidamente encaminhadas para sistemas de drenagem, que a removem o mais rápido possível. Calcula-se que cerca de 75% da água da chuva é encaminhada através dos sistemas de drenagem diretamente para as redes pluviais e de seguida para os cursos de água (Carbone *et al*, 2014).

Este processo em diversas situações, quer por erros de dimensionamento quer por chuvas intensas leva a inundações e ao aumento dos caudais dos rios causando imensos prejuízos materiais e em situações mais graves prejuízos humanos. Numa tentativa de amenizar este fenómeno, as coberturas verdes surgem com vastas áreas permeáveis, onde a água é em parte retida pelo solo, plantas e camada drenante, sendo alguma devolvida pelas plantas à atmosfera através da transpiração. Assim, a utilização de coberturas verdes tem um efeito extremamente positivo no que diz respeito ao controle do volume de águas pluviais escoadas, possibilitando ainda melhores condições para a captação e reutilização da água.

Melhoria do desempenho térmico

Quando é utilizada vegetação na cobertura de edifícios, esta tem um efeito regulador da temperatura, de acordo com a espessura de substrato utilizado. Com a sua utilização além de aumentar a inércia térmica, provocada pela camada de solo, as plantas provocam a reflexão da radiação solar e arrefecimento por evaporação e conseqüentemente desta forma é evitado o sobreaquecimento em épocas de maior calor (Neila *et al*, 2008)

Através deste método é possível uma enorme redução do consumo energético em climatização, no arrefecimento em períodos quentes e no aquecimento em períodos frios. A utilização de isolamento térmico contribui para que se garantam resistências térmicas adicionais.

Aumento da durabilidade da cobertura

As camadas superiores das coberturas verdes protegem a camada de impermeabilização contra os agentes erosivos, contra as amplitudes térmicas e contra os danos mecânicos. Estudos realizados na Europa indicam que as coberturas verdes duplicam a vida útil dos materiais de impermeabilização, podendo verificar-se uma vida útil de aproximadamente 40 anos, enquanto que, a duração de uma camada de impermeabilização de uma cobertura convencional ronda os 15 anos (Raposo, 2013).

Estes aspetos são de todo o interesse para Portugal uma vez que verificamos variações elevadas de temperatura ao longo do ano, entre 40 °C de verão a -10 °C no inverno.

Diminuição da poluição atmosférica

A poluição atmosférica é uma grave realidade dos grandes centros urbanos, gerada principalmente pela indústria e veículos, constituindo uma grande ameaça à saúde pública. Em algumas grandes cidades, o ar acaba por ficar saturado com partículas poluentes, gerando, o denominado “smog”.

As coberturas verdes, através das espécies vegetais filtram as partículas poluentes, podendo também ser absorvidas pelo solo, contribuindo assim, para a diminuição da poluição atmosférica.

Melhoria do isolamento acústico

O isolamento acústico pode ser melhorado através da utilização da vegetação, pois esta atenua o efeito da poluição sonora, reduzindo os níveis sonoros no interior dos edifícios tanto nas frequências baixas como nas altas.

Promovem a biodiversidade

As coberturas verdes promovem a biodiversidade, pois a flora integrada neste elemento cria habitats para diversas espécies de insetos e pássaros, sendo possível assim a sua fixação em meios urbanos.

Promovem atividades de lazer e convívio

As coberturas verdes permitem a criação de jardins acessíveis, espaços de lazer e convívio coletivo. Pode-se considerar este benefício como a principal vantagem da vertente social. Tendo em conta um mundo cada vez mais urbano e concentrado, é importante a existência de espaços verdes para que o Homem possa conservar no seu quotidiano pelo menos uma pequena percentagem de natureza e espaços verdes.

2.5 Barreiras e desvantagens à instalação de coberturas verdes

Após a análise das principais vantagens, verifica-se que este sistema é muito eficiente, sendo as principais desvantagens a apontar, o custo do sistema. O fator económico assume assim um entrave à adesão a esta metodologia, se bem que a longo prazo, pode haver recuperação do investimento inicial, pois como já foi referido, este método apresenta um elevado desempenho energético, permitindo assim poupança em climatização.

2.6 Aglomerado de cortiça expandida (ICB)

Passa-se agora à apresentação das características do ICB (figura 2.5), para compreensão das suas vantagens, propriedades e eventuais limitações antes do início dos capítulos relativos à campanha experimental. Assim, é importante conhecer as características do material, bem como a viabilidade do ICB antes de estudar experimentalmente o seu desempenho de drenagem como camada drenante de uma cobertura verde.



Figura 2.5 - ICB

O aglomerado de cortiça expandida (ICB - Expanded Insulation Cork Board) é um produto 100% natural, constituído apenas por cortiça e altamente sustentável. É um material ecológico, em que na obtenção da matéria prima não se danifica a árvore nem o ambiente e no processo de fabrico industrial todos os desperdícios são 100% reutilizáveis.

A origem do ICB surge nos Estados Unidos no decorrer do ano 1891 em que acidentalmente foi descoberta a “receita” para a produção do ICB numa fábrica de coletes salva-vidas, por John T. Smith. A sua estrutura celular e a composição química proporcionam-lhe excelentes propriedades, podendo ser utilizado em várias aplicações. Na térmica, o ICB é utilizado como isolamento térmico, impede trocas de calor entre o interior e o exterior, tem uma baixa condutibilidade térmica e uma elevada inercia térmica, características de bons isolamentos

térmicos. Na acústica, como isolamento acústico o material tem alguma capacidade de absorção de ondas sonoras e pode ser usado como corretor acústico de ambientes. Enquanto isolamento antivibrático, apresenta uma elevada resiliência que evita a propagação de vibrações de um espaço para outro, suporta grandes cargas e mantém inalteradas as suas características técnicas (Roseta, 2013).

A norma europeia EN 13170: 2012 especificação do produto aglomerado de cortiça, apresenta os procedimentos necessários para a avaliação do produto, em termos de resistência e condutividade térmica, propriedades geométricas (largura, comprimento e espessura), estabilidade dimensional, durabilidade, reação ao fogo, teor de humidade e densidade aparente. Esta norma aplica-se somente a ICB com massa volúmica aparente máxima de $130 \text{ kg} / \text{m}^3$ (Fino *et al* 2014), embora se possam aplicar os mesmos procedimentos a ICB de massas volúmicas aparentes superiores.

Na campanha experimental desta dissertação, utilizaram-se três tipos de ICB, o de densidade standard (STD) (massa volúmica aparente de $90\text{-}110 \text{ kg} / \text{m}^3$), o ICB de média densidade (MD) (massa volúmica aparente de $140\text{-}160 \text{ kg} / \text{m}^3$) e o de alta densidade (HD) (massa volúmica aparente de $175\text{-}190 \text{ kg} / \text{m}^3$). As características principais são apresentadas no quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Propriedades do ICB, consoante as densidades STD, MD e HD (adaptado de Fino et al, 2014 e Roseta, 2013).

	<i>STD</i>	<i>MD</i>	<i>HD</i>
Massa volúmica aparente [kg / m^3]	90-110	140-160	175-190
Condutividade térmica (λ) [$\text{W} / (\text{m.K})$]	0.038	0.042	0.044
Permeância ao vapor de água (W) [$\text{mg}/(\text{m}^2.\text{h.Pa})$]	0.58	0.33	0.21
Permeabilidade ao vapor de água (δ) [$\text{mg}/(\text{m.h.Pa})$]	0.04	0.01	-
Factor de resistência à difusão do vapor de água (μ)	20.50	54.61	-
Tensão de tração na rotura σ_{mt} [kPa]	45.9	67.81	-
Tensão de compressão na rotura τ [kPa]	55	110	-
Resistência ao fogo	Euro classe "E"	Euro classe "E"	Euro classe "E"

Além do lado ecológico, o ICB é um material com excelentes características técnicas, como se pode verificar na tabela anterior. Além das vantagens já mencionadas, é de salientar outras como: estabilidade dimensional, durabilidade, suporta cargas permanentes sem que haja danificação do sistema, material quimicamente inerte, material leve, não sobrecarregando as

estruturas e material imputrescível. As únicas eventuais barreiras à utilização do ICB é o custo do material e o seu comportamento de reação ao fogo.

Considerando a versatilidade deste material, na campanha experimental analisa-se a permeabilidade do ICB afim de verificar a sua aplicabilidade como camada drenante numa cobertura verde. Antes disso, é realizado um estudo acerca dos valores regulamentares utilizados em Portugal para a precipitação no dimensionamento de coberturas.

2.7 Precipitação em Portugal

Os valores de precipitação assumem um papel fundamental na modelação dos sistemas de ensaio previstos para a campanha experimental abordada no capítulo 3. Pretendendo-se analisar a viabilidade de um material como elemento drenante para uma cobertura verde, é da máxima importância ter uma referência a nível de caudais máximos a simular nos procedimentos experimentais.

O cálculo do valor máximo de precipitação em Portugal para efeitos de dimensionamentos de coberturas é determinado segundo o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR), integrante do Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto, publicado no ano de 1995. Este regulamento apresenta princípios gerais para dimensionamento, conceção, construção e exploração dos sistemas de distribuição de água e de drenagem de águas residuais.

Segundo o artigo 128º deste regulamento, o cálculo relativo à drenagem de águas pluviais deve ser feito recorrendo às curvas intensidade/duração/frequência, que fornecem os valores das intensidades médias máximas da precipitação para diferentes durações e períodos de retorno. Ainda segundo este artigo, as curvas intensidade/duração/frequência são obtidas a partir de dados estatístico de séries históricas de registos udográficos correspondentes a um número elevado de anos. Para efeitos de cálculo deve-se recorrer às curvas correspondentes a três regiões pluviométricas A, B e C, presentes no anexo IX deste regulamento, onde se encontram os parâmetros a considerar para vários períodos de retorno.

Posto isto, o cálculo do caudal pluvial (em edifícios) de acordo com o RGSPDADAR, é dado pela expressão:

$$i = a t^b \quad (2.1)$$

Em que:

i – intensidade média máxima de precipitação (mm/h) para a duração t (min);

a, b – constantes que dependem do período de retorno.

No artigo 210º, alusivo ainda à precipitação, é estabelecido que no dimensionamento de uma rede predial de drenagem pluvial deve-se considerar no mínimo um período de retorno de cinco anos e uma duração de precipitação de cinco minutos. Considerando uma duração de cinco minutos, um período de retorno de cinco anos e a zona pluviométrica A (zona que envolve a maior parte de Portugal continental), de acordo com o anexo IX obtemos os valores de a e b.

$$a = 259,26$$

$$b = -0,562 \quad \longrightarrow \quad i = 105 \text{ mm/h/m}^2 = 1,75 \text{ l/min/m}^2$$

$$t = 5 \text{ min}$$

Obtém-se assim o valor de referência de 1.75l/min/m² para a precipitação máxima. Segundo a Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais (ANQIP), estudos recentes relativos às alterações climáticas em Portugal, indicam que são de esperar aumentos nas intensidades dos eventos de curta duração da ordem dos 20%, pelo que, no futuro, este valor de cálculo deverá ser aumentado para um valor próximo de 2,1 l/min/m².

3 CAMPANHA EXPERIMENTAL

3.1 Âmbito

No âmbito do tema proposto para esta dissertação, foi preparada e realizada uma campanha experimental com o objetivo de estudar a capacidade de drenagem e retenção de água no ICB, proposto para integrar as coberturas verdes criando simultaneamente, a camada drenante e de isolamento em como podemos ver na figura 3.1.

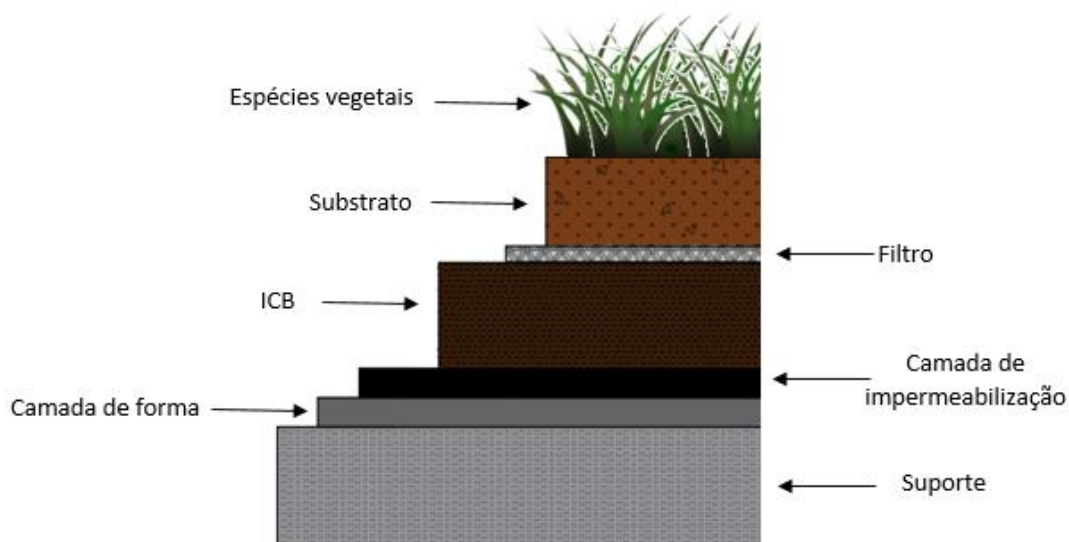


Figura 3.1 - Cobertura verde com o ICB a desempenhar a função de camada drenante e isolamento em simultâneo

Até ao momento, a incorporação do ICB na constituição de coberturas verdes não é novidade, constatando-se que este material já deu provas de boas práticas como isolamento térmico, acústico e antivibrático. No que toca à camada drenante é completamente inovador a utilização deste material para substituição das camadas drenantes convencionais. É exatamente neste aspeto que a campanha experimental vai incidir. Importa estudar a viabilidade do desempenho drenante do ICB. Posto isto, foram desenvolvidos dois ensaios experimentais no Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (ITECONS), em que foi testada a capacidade de drenagem vertical e horizontal do material.

3.2 Organização da campanha experimental

A parte experimental desta dissertação consistiu na preparação e realização de ensaios de drenagem vertical (3.3) e de ensaios de drenagem horizontal (3.4).

3.2.1 Ensaio de drenagem vertical

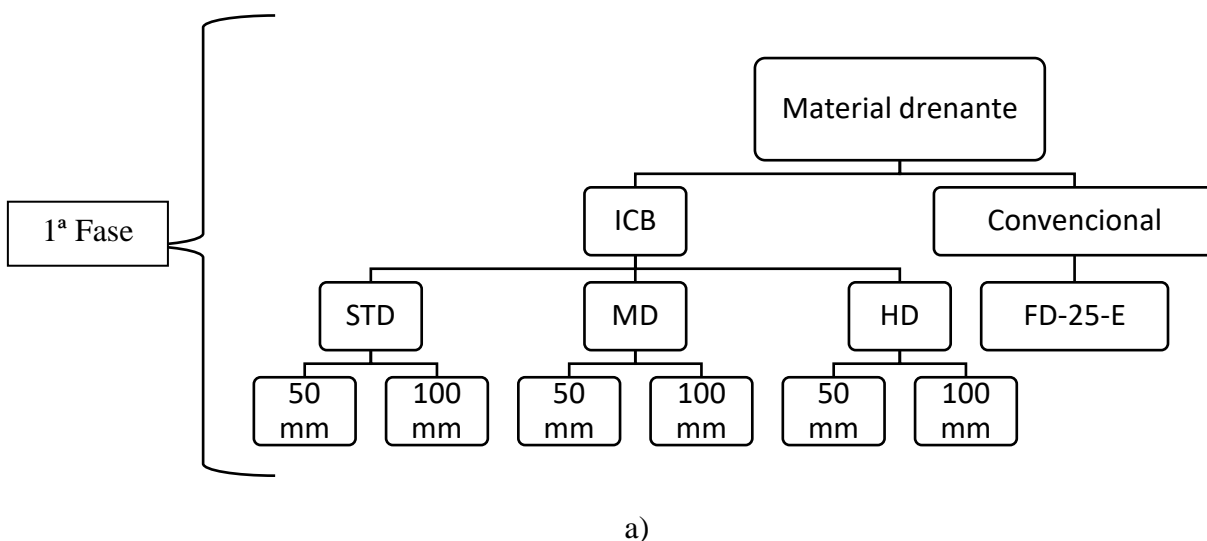
Numa primeira fase da campanha experimental ensaiaram-se amostras de ICB de duas espessuras (50 mm e 100 mm) e três densidades, nomeadamente, standard (STD), média densidade (MD) e alta densidade (HD).

Neste procedimento experimental realizaram-se vinte e seis ensaios. Cada provete foi sujeito a uma sequência de três testes com a duração de aproximadamente 72 horas, cada ensaio correspondeu a um teste de drenagem com a duração de 24 horas (teste 1, teste 2 e teste 3).

Numa segunda fase, com o objetivo de testar o comportamento do ICB na presença de outros elementos constituintes de uma cobertura verde, adicionou-se a camada do substrato. Para uma diferenciação clara a nível de denominação, os provetes com substrato são designados por sistema completo.

O sistema completo, sujeito a quatro ensaios, dois na espessura de 50 mm de ICB e dois na de 100 mm, com as densidades STD e MD.

Por fim, para finalizar a campanha experimental de drenagem vertical, foi ensaiado um provete com uma amostra de uma camada drenante convencionalmente usada em coberturas verdes (floradrain FD-25-E). Após este ensaio, foi também realizado um ensaio com a adição da camada de substrato (sistema completo). De forma a sintetizar este procedimento experimental, apresenta-se de seguida uma representação esquemática na figura 3.2 a) e b).



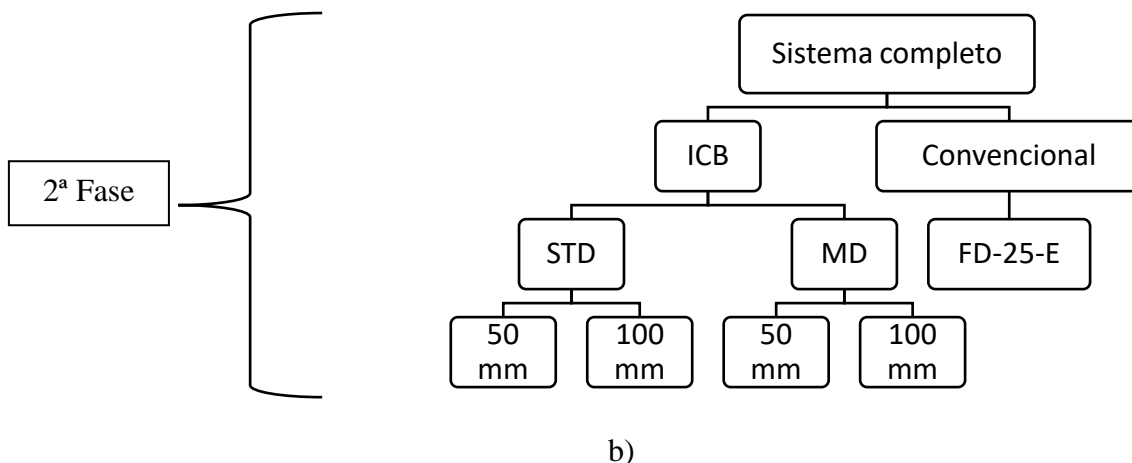


Figura 3.2 - Síntese do procedimento experimental para drenagem vertical: a) relativa ao material drenante e b) relativa aos sistemas completos

3.2.2 Ensaio de drenagem horizontal

Com esta segunda parte da campanha experimental pretende-se avaliar o comportamento de drenagem horizontal do ICB a uma escala que permite simular melhor o comportamento real do sistema. Para tal, construiu-se um equipamento destinado a provetes de grandes dimensões onde se realizaram apenas ensaios com sistemas completos.

Foi realizado um total de quatro ensaios, ao longo dos quais se procurou aperfeiçoar o sistema recorrendo a outras soluções de ICB com superfícies tratadas (criação de sulcos de drenagem), para obtenção de uma solução mais eficiente a nível de drenagem. Na figura 3.3 apresenta-se um esquema síntese deste procedimento.

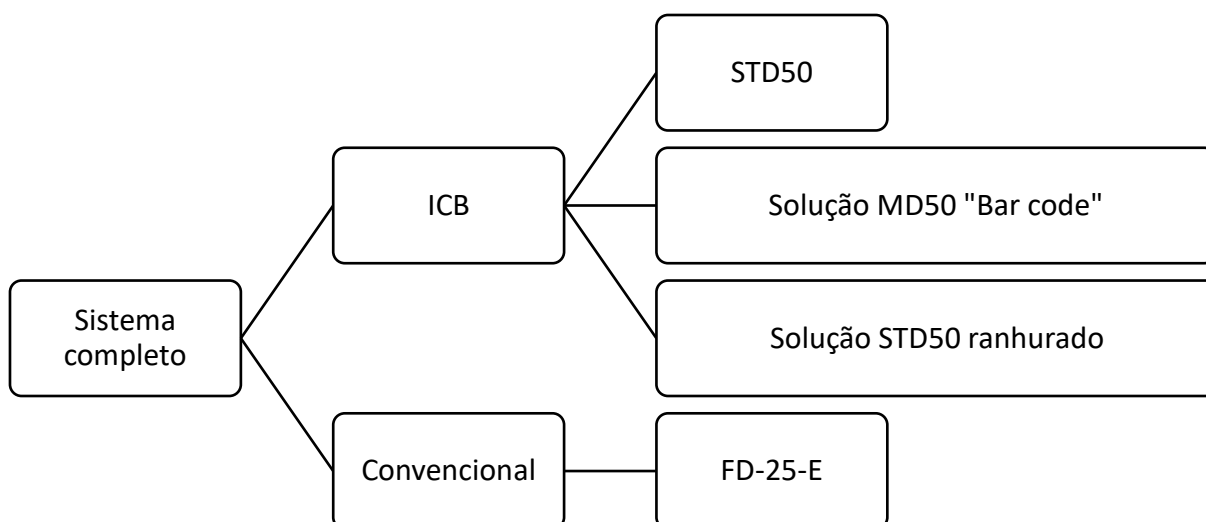


Figura 3.3 - Síntese do procedimento experimental para drenagem horizontal

3.3 Procedimento de ensaio para drenagem vertical

3.3.1 Princípio

Com o objetivo de estudar a capacidade drenante do ICB foi desenvolvido um procedimento de ensaio de drenagem vertical em regime variável, essencialmente quantitativo, que permitisse testar a capacidade de drenagem de água de placas de ICB com diferentes espessuras e massas volúmicas.

O ensaio consiste em depositar sobre o provete 11250 g de água, que por gravidade tende a atravessar o provete numa trajetória vertical e posteriormente cai para um reservatório colocado sobre uma balança com registo automático recorrendo a um computador. Assim, é possível registar a massa de água que se deposita no reservatório ao longo do tempo. O aparato para o ensaio apresenta-se na figura 3.4.

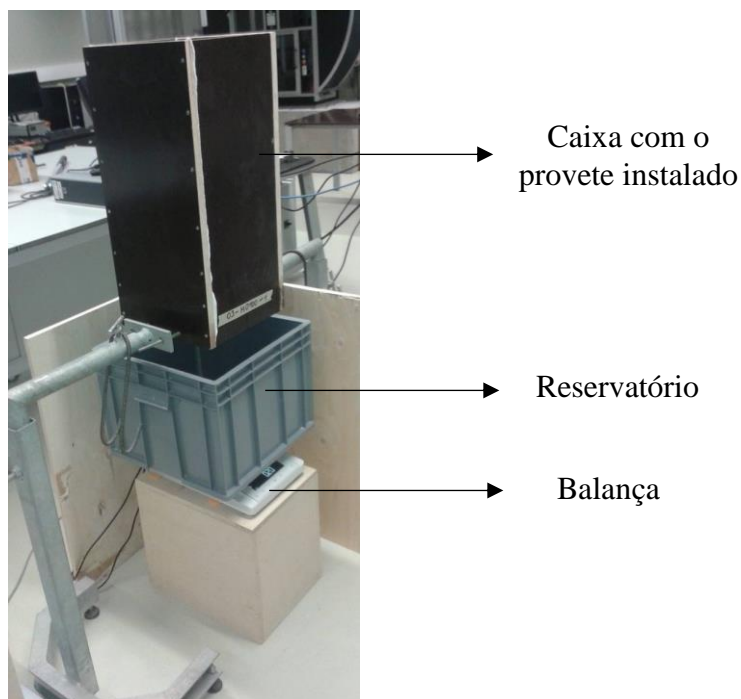


Figura 3.4 - Ensaio de drenagem vertical

Terminado o período de ensaio é possível saber a quantidade de água drenada, o tempo de drenagem, a quantidade de água retida pela diferença de peso do provete antes e depois do ensaio e a evaporação ao longo do ensaio.

3.3.2 Equipamento e materiais

3.3.2.1 Equipamento de registo

O registo dos dados relativos a este ensaio vertical foi realizado com o auxílio a duas balanças e um computador. A primeira balança serve para pesar os provetes antes e após os ensaios e a

segunda está ligada a um computador, que regista num ficheiro cinco resultados por segundo da massa de água acumulada no reservatório.

3.3.2 Outros equipamentos e materiais

- Balde;
- Reservatório (caixa);
- Apoios para suporte dos provetes;
- Cronómetro;
- Fita-cola (resistente à água);
- Substrato (substrato técnico para *Sedum*, cuja ficha técnica se encontra no anexo III);
- Filtro geotêxtil;
- Caixa para instalação dos provetes.

3.3.3 Condicionamento das amostras

Antes da realização dos ensaios, as amostras foram armazenadas 28 dias em condições laboratoriais verificando-se que se garante estarem em regime de massa constante.

3.3.4 Provetes de ensaio

As caixas para instalação dos provetes de ensaio foram construídas em contraplacado marítimo (para cofragem) com a forma de um paralelepípedo de base quadrangular de 25 cm de lado e 60 cm de altura. Uma das extremidades é aberta e na outra é fixada a amostra que se pretende ensaiar, como podemos ver na figura 3.5.

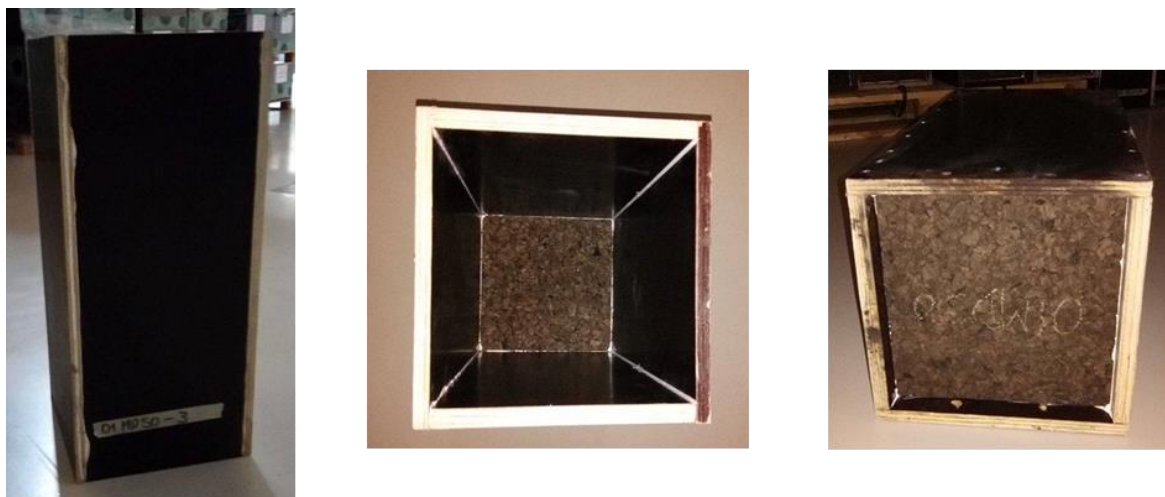


Figura 3.5- Caixa de contraplacado de cofragem com provete de ICB

Provetes de amostras de ICB como material drenante

Prepararam-se um total de 18 provetes (quadrados de 25 cm de lado). Foram testados provetes com amostras de ICB de três densidades diferentes e de duas espessuras (figura 3.6). Nomeadamente ICB de densidade standard (STD), média densidade (MD) e alta densidade (HD) e espessuras de 50 mm e 100 mm, cada amostra era composta por três provetes.

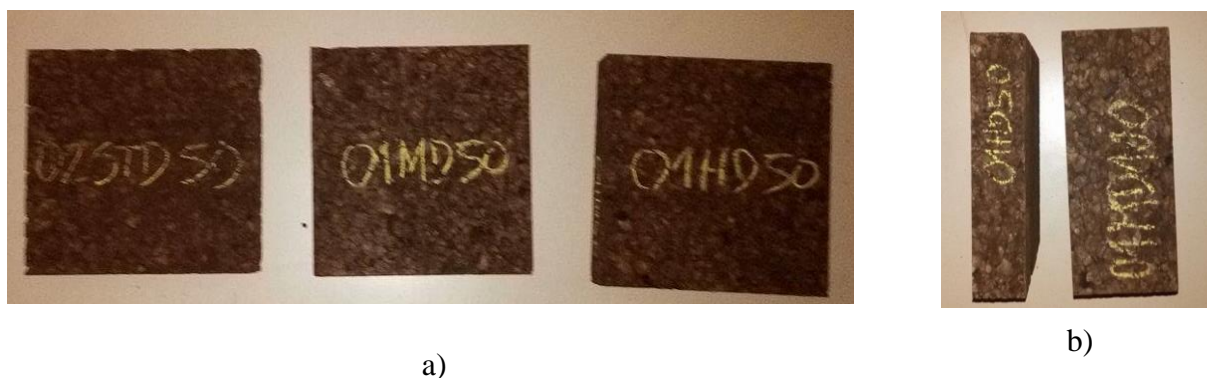


Figura 3.6 – Densidades (a) e espessuras (b) das amostras de ICB

De seguida apresentam-se duas tabelas, 3.1 e 3.2 com as denominações atribuídas aos provetes, conforme a espessura e a densidade da amostra:

- Amostras de densidade STD na espessura 50 (STD50);
- Amostras de densidade MD na espessura 50 (MD50);
- Amostras de densidade HD na espessura 50 (HD50);
- Amostras de densidade STD na espessura 100 (STD100);
- Amostras de densidade MD na espessura 100 (MD100);
- Amostras de densidade HD na espessura 100 (HD100).

Tabela 3.1 – Denominações atribuídas aos provetes de espessura 50 mm

STD50_1	MD50_1	HD50_1
STD50_2	MD50_2	HD50_2
STD50_3	MD50_3	HD50_3

Tabela 3.2 – Denominações atribuídas aos provetes de espessura 100 mm

STD100_1	MD100_1	HD100_1
STD100_2	MD100_2	HD100_2
STD100_3	MD100_3	HD100_3

As três amostras de cada densidade consoante a espessura (por exemplo: STD50_1, STD50_2 e STD50_3) foram ambas recolhidas da mesma placa de ICB, de modo a obterem-se amostras o mais semelhantes possível. O valor das massas volúmicas de cada placa foi calculado e é apresentado na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Massas volúmicas aparente das amostras segundo as categorias ensaiadas

Amostra	Massa volúmica [kg / m³]
STD50	130.3
MD50	148.3
HD50	171.9
STD100	115.9
MD100	149.7
HD100	191.4

Provetes de amostras de FD

Para o estudo desta variável, foi construída uma caixa semelhante às anteriores em contraplacado de cofragem, mas substituiu-se a amostra de ICB por uma placa de 25 cm × 25 cm de uma camada drenante corrente, o Floradrain FD 25-E (figura 3.7), cuja ficha técnica do material se encontra no anexo III.

Este ensaio é extremamente importante, na medida que permite a comparação de uma solução utilizada atualmente no mercado da construção com a solução proposta nesta dissertação.

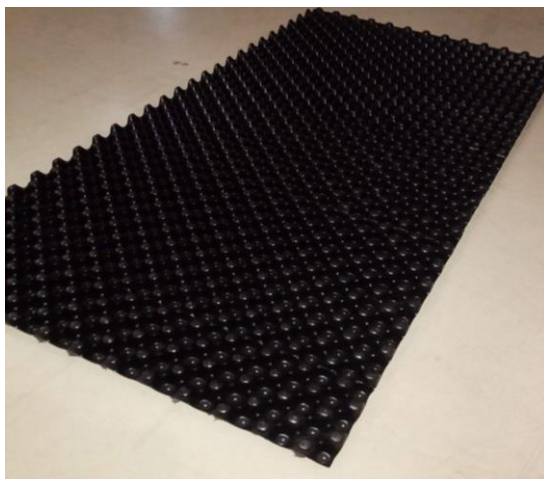


Figura 3.7 - Camada drenante FD-25-E

Provetes do sistema completo com amostras de ICB

Para o estudo do sistema completo foram realizados quatro ensaios, utilizando os mesmos provetes anteriores, com amostras de ICB de 50 mm e 100 mm, com densidades STD e MD. Adicionou-se uma camada de 10 cm de substrato (simulação de uma cobertura extensiva) sobre a amostra do ICB. Com estes ensaios, pretende-se analisar o comportamento do ICB em interação com outros elementos e quantificar a influência do substrato na drenagem e retenção de água.

A preparação destes provetes é mais complexa que a dos anteriores. Sobre a amostra de ICB fixa-se um filtro de geotêxtil e sobre o filtro coloca-se uma camada de 10 cm de substrato. Por fim, sobre o substrato é colocada uma rede, para impedir que, com a colocação rápida da água no provete, o substrato não sofra deslocamentos elevados, figura 3.8.



Figura 3.8- Provetes com amostras de ICB em sistema completo

Provetes do sistema completo com FD

À semelhança do que aconteceu com os provetes com ICB, também se preparou e realizou um ensaio de um sistema completo com o FD-25-E.

A preparação do provete é idêntica ao processo acima descrito para provetes com amostras de ICB em sistema completo.

3.3.5 Procedimento experimental

Os ensaios tiveram a duração de aproximadamente 72 horas (três dias consecutivos), correspondendo a uma sequência de três testes, (teste 1, teste 2 e teste 3) correspondentes aos dias um, dois e três respetivamente, em que cada teste tem a duração exata de 24 horas. O procedimento experimental é idêntico em todos os testes, apresentado de seguida:

- Preparação do provete (como descrito no ponto 3.3.4);
- Pesagem de 11250g de água no balde;
- Preparação do dispositivo de ensaio, nomeadamente com a colocação do reservatório sobre a balança (retirar a tara), e posicionamento correto dos apoios de forma a garantir a correta drenagem da água do provete para o reservatório (figura 3.9);
- Pesagem e registo do peso do provete antes do ensaio, bem como o registo da data e da hora;
- Colocação da caixa com o provete nos apoios;
- Preparação/verificação da balança e do computador;



Figura 3.9 - Sistema para o procedimento do ensaio de drenagem vertical

- Início do ensaio, procedendo-se à descarga de água no provete; com auxílio de um cronómetro inicia-se o registo do tempo; inicia-se também o registo da pesagem no software (medições em simultâneo);
- Regista-se de seguida o tempo que foi necessário para introduzir na caixa de cofragem os 11250 g de água sobre o provete (valor na ordem dos 7 segundos);
- Após 24 horas, pára-se o ensaio, faz-se uma nova pesagem do provete e repete-se o processo descrito para os outros dois testes.

3.3.6 Tratamento dos resultados

O tratamento dos resultados é realizado utilizando os dados registados pelo software ao longo dos ensaios (total drenado pelo provete e acumulado na balança) e com os registos das pesagens dos provetes antes e após os ensaios (total retido nos provetes). Este processo é efetuado de forma a analisar a capacidade drenante das amostras de ICB, onde o essencial é saber a quantidade de água que o provete drena em função do tempo e a quantidade de água que o provete retém. Inevitavelmente, considerando que estamos perante testes com duração de 24 horas, existe perda de massa de água por evaporação.

De seguida apresentam-se as definições das variáveis estudadas ao longo do ensaio.

- Massa drenada através da amostra

Este parâmetro é obtido pelo peso total de água drenada pelo provete e acumulada no reservatório (caixa).

$$md_i = Ta \quad (3.1)$$

Em que:

md_i - massa drenada pelo provete i em gramas (g), após 24horas;

Ta - total acumulado no reservatório em gramas (g), após 24horas.

O dispositivo de pesagem permite registar a evolução da pesagem ao longo do tempo, $md_i(t)$. É, assim, possível obter a massa em qualquer instante.

- Massa retida pela amostra

Este parâmetro diz respeito à quantidade de água que a amostra consegue reter ao longo do ensaio. Este valor é obtido pela diferença entre o peso do provete antes e após o ensaio.

$$mr_i = Pf_i - Pi_i \quad (3.2)$$

Em que:

mr_i – massa retida pelo provete i em gramas (g), após 24 horas;

Pf_i – peso do provete no final do ensaio em gramas (g);

Pi_i – peso do provete no início do ensaio em gramas (g).

É possível obter o valor da massa retida em qualquer instante t , $mr_i(t)$.

- Evaporação/perdas

Este parâmetro diz respeito à quantidade de massa de água que se perde ao longo das 24 horas do ensaio. Basicamente é a massa de água que após o ensaio não se encontra acumulado no reservatório nem retido no provete. É calculado pela diferença entre o retido aparente pelo provete segundo os dados gerados pelo software e o total retido (mr_i).

$$Ep_i = 11250 - md_i - mr_i \quad (3.3)$$

Em que:

Ep_i – Evaporação/perdas de massa de água do provete i em gramas (g), ao longo de 24 horas;

11250 – Massa total de água colocada nos provetes em gramas (g);

md_i - massa drenada pelo provete i em gramas (g), após 24 horas;

mr_i – massa retida pelo provete i em gramas (g), após 24 horas.

Após os registos, optou-se por fazer a média de cada 5 pesagens consecutivas, obtendo-se uma pesagem média por segundo (permitindo a redução de um ficheiro com 432000 resultados (24 horas de medição) para 86400). Esta redução permite uma análise mais clara dos gráficos.

A apresentação dos resultados é feita recorrendo a gráficos de drenagem em função do tempo, onde são apresentados para todos os ensaios as curvas do total acumulado e a variação do caudal ao longo do tempo. Elaboram-se também tabelas onde se apresentam os valores dos seguintes parâmetros: máximo acumulado, caudal de ponta, tempo para drenar 25%, 50% e 75% da massa total de água colocada sobre os provetes, total retido e o valor da evaporação/perdas.

É conveniente mencionar que todos os gráficos apresentados no capítulo 4, apresentam somente os resultados dos primeiros minutos de ensaio, embora tenham tido a duração de 24 horas. Este ajuste no eixo do tempo (eixo horizontal) é pertinente porque a drenagem ocorre nos primeiros minutos. Permite assim que se consiga perceber a diferença entre provetes.

3.4 Procedimento de ensaio para drenagem horizontal

3.4.1 Princípio

Pretendendo-se uma simulação mais realista para o ensaio do ICB na campanha experimental desta dissertação, desenvolve-se um procedimento experimental com características próximas às de uma cobertura verde plana (com inclinação reduzida) ou seja, uma drenagem essencialmente horizontal em provetes de maior área. O dispositivo de ensaio permite simular condições em regime permanente e em regime variável. Para tal, cria-se um dispositivo de grandes dimensões, equipado com uma rede de aspersores (Figura 3.10), ligados a uma bomba que permite o controle e quantificação dos caudais. Relativamente ao posicionamento do provete, mantém-se sempre a mesma posição (fixa), sendo possível ajustar. Na presente dissertação optou-se por uma inclinação praticamente nula de forma a gerar uma situação mais desfavorável à drenagem.

O ensaio consiste em aplicar no sistema completo um determinado caudal de água. O dispositivo, apesar de permitir a variação de caudais, foi utilizado para testes com caudais constantes. Testaram-se vários caudais no sentido de avaliar qual o máximo caudal que o sistema permite para uma situação de regime permanente de precipitação.



Figura3.10 - Provede de ensaio para drenagem horizontal

Este procedimento é essencialmente qualitativo, em que o importante é observar o comportamento de drenagem do ICB num cenário próximo ao de uma cobertura plana real. Além das observações é registado o caudal máximo que o sistema consegue drenar.

3.4.2 Equipamentos e materiais

- Balde;
- Cronómetro;
- Fita-cola;
- Substrato (substrato técnico para *Sedum*);
- Balança;
- Régua de metal;
- Filtro geotêxtil;
- Camada de proteção;
- Papel absorvente.

3.4.3 Condicionamento

Os provetes foram armazenados 28 dias em condições laboratoriais assegurando-se que as mesmas se encontravam a massa constante antes da realização dos ensaios.

3.4.4 Provetes

Como já mencionado anteriormente, neste procedimento de ensaio, usa-se apenas um provete, de cada um dos sistemas completos. O dispositivo é em contraplacado de cofragem com as dimensões de 3m×0.5m de base e 0.5m de altura, apoiado em cavaletes de madeira, mantendo o provete numa posição praticamente horizontal. Numa das extremidades possui uma saída, local pelo qual a água drenada é encaminhada para um sistema de recolha constituído por um “funil” de grandes dimensões em madeira e uma caleira de metal (figura 3.11).



Figura 3.11 - Dispositivo de ensaio horizontal

Realizaram-se quatro ensaios, três com soluções de ICB e um com FD-25-E. Nos três ensaios realizados com ICB utilizou-se sempre a espessura de 50 mm.

No primeiro ensaio utiliza-se uma amostra de densidade STD semelhante as utilizadas anteriormente (figura 3.12), no segundo ensaia-se uma solução designada “bar code” de densidade MD (figura 3.13), no terceiro recorre-se a uma solução composta por placas STD com ranhuras (figura 3.14).

Neste procedimento, recorre-se a outras soluções de ICB com o objetivo de maximizar o desempenho de drenagem do sistema, em relação à solução convencional, FD-25-E (figura 3.15).



Figura 3.12 – Amostra de densidade STD



Figura 3.13 - Solução MD “bar code”



Figura 3.14 – Solução com ranhuras de densidade STD

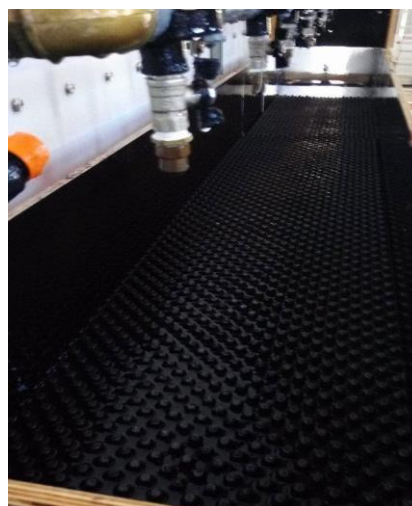


Figura 3.15 – FD-25-E

3.4.5 Procedimento experimental

O procedimento experimental é idêntico para todos os ensaios, após a colocação dos diferentes sistemas de drenagem presentes nas figuras 3.12 a 3.15, procede-se à seguinte sequência de ações:

- Colocação da camada drenante (como já mencionado anteriormente);
- Aplicação do caudal máximo dos aspersores (2 l/min por aspersor, um total de 14 l/min);
- Verificação de eventuais problemas de drenagem (que não se verificou com nenhum drenante nesta fase);
- Secagem das paredes do dispositivo com papel absorvente;
- Fixação do filtro geotêxtil sobre a camada drenante, garantindo uma altura de 10 cm nas paredes do provete;
- Colocação de uma camada de substrato com espessura de 10 cm;
- Recorrendo a uma régua de metal faz-se a uniformização do substrato de forma a obter-se uma camada uniformemente distribuída por toda a área do provete;
- Arranque dos aspersores a 50% (caudal equivalente de 7 (l/min));
- Verificação de eventuais problemas de drenagem (o que não aconteceu com nenhum sistema nesta fase);
- Aumento dos aspersores para o máximo (caudal equivalente de 14 (l/min));
- Realização de algumas medições de caudal, recorrendo a um balde e a um cronómetro, até o sistema atingir o regime constante, ou seja, o valor de água recolhida num minuto atingir o valor de 14 litros (caudal máximo emitido pelos aspersores);
- Verificação de eventuais problemas de drenagem;
- Nos sistemas onde não se verificam problemas de drenagem, aplica-se um caudal extra, até o sistema atingir o limite de drenagem;
- Medição do caudal máximo drenado pelo sistema completo, recorrendo a um balde e a um cronómetro.

3.4.6 Tratamento dos resultados

O tratamento dos resultados deste procedimento experimental, consiste no registo e na exposição das observações realizadas ao longo do ensaio. Procede-se em particular à análise do comportamento drenante das soluções de ICB propostas, comparativamente ao comportamento do sistema com FD-25-E. É também apresentado o valor do caudal máximo drenado por cada sistema completo e apresentadas as conclusões provenientes da comparação entre os vários sistemas.

De forma a conseguir-se uma avaliação mais uniforme e simplificada para todas as soluções, foi elaborada uma tabela com indicadores de desempenho idênticos para todas as soluções.

4 RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados de toda a campanha experimental. Estando estes divididos em duas partes, resultados dos ensaios de drenagem vertical (4.1) e resultados dos ensaios de drenagem horizontal (4.2).

Ao longo do ponto 4.1 são apresentados os resultados dos vinte e seis ensaios realizados com o procedimento experimental vertical, vinte e quatro com provetes de ICB e dois com provetes de FD-25-E (drenante convencional). Apresentam-se os resultados relativos ao drenante isolado e o comportamento do sistema completo (camada drenante, filtro e camada de substrato). No final deste ponto é feita a análise global dos resultados, onde são apresentadas as principais conclusões do estudo desenvolvido na campanha experimental.

Toda a informação relativa ao processo de registo efetuado ao longo da campanha experimental no procedimento experimental para drenagem vertical, encontra-se no anexo I.

No ponto 4.2 relativo ao ensaio horizontal, apresentam-se as observações realizadas ao longo dos ensaios e os valores de caudais relevantes da drenagem dos sistemas completos. Faz-se ainda a comparação entre as soluções de ICB versus drenante convencional, de modo a verificar a viabilidade do ICB para cumprir a função de camada drenante de uma cobertura verde.

4.1 Resultados do procedimento de ensaio para drenagem vertical

4.1.1 ICB

Neste ponto apresentam-se os resultados obtidos nos dezoito provetes de ICB, analisando-se a permeabilidade deste material nas três densidades estudadas, STD, MD e HD, para 50 e 100 mm de espessura.

4.1.1.1 *STD50, MD50 e HD50*

Na espessura de 50 mm ensaiaram-se três provetes de cada densidade, cujas terminologias atribuídas aos provetes se apresentam na tabela 4.1.

Tabela 4.1. Designação dos provetes ensaiados com amostras de 50 mm.

STD50_1	MD50_1	HD50_1
STD50_2	MD50_2	HD50_2
STD50_3	MD50_3	HD50_3

Para uma primeira percepção do comportamento do ICB como drenante, apresentam-se nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3 as curvas do total acumulado, por densidade, de todos os testes realizados a provetes com espessura de 50 mm.

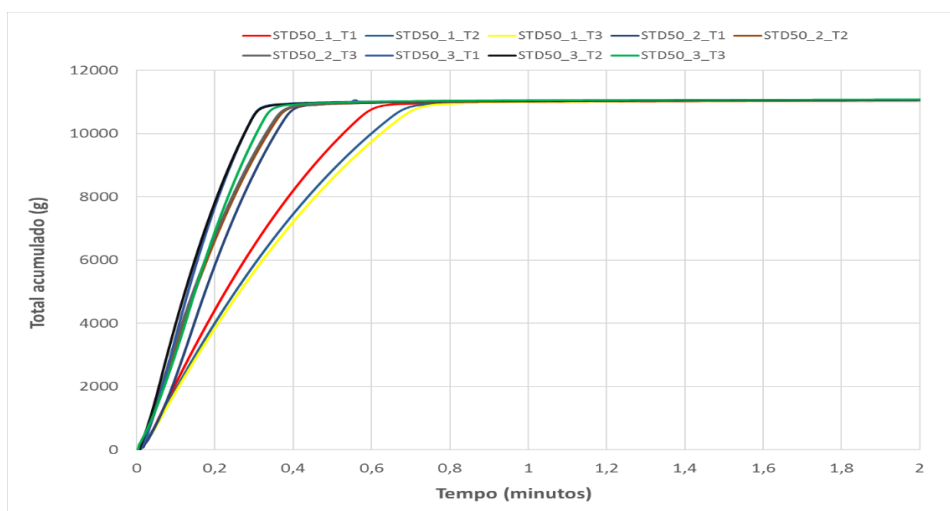


Figura 4.1- Total acumulado de todos os ensaios realizados à categoria STD50

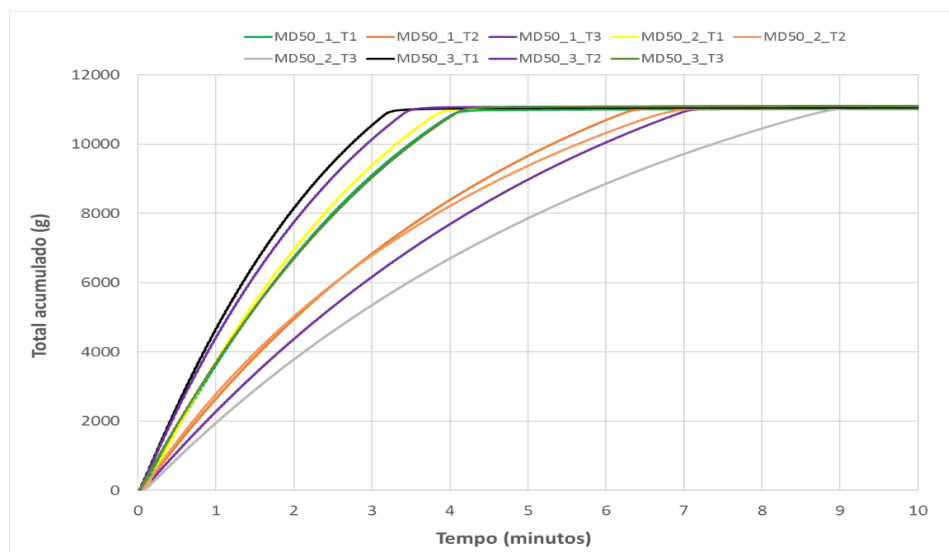


Figura 4.2- Total acumulado de todos os ensaios realizados à categoria MD50

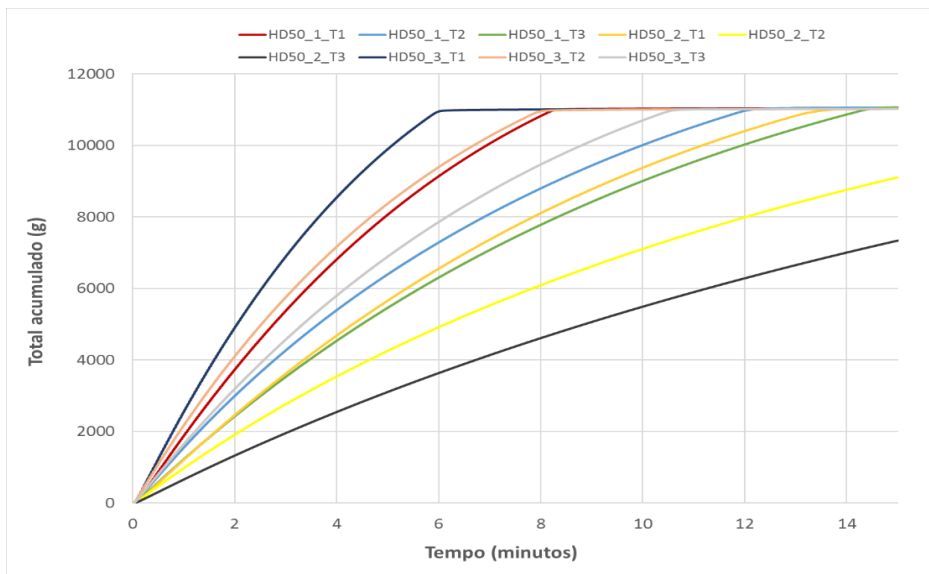
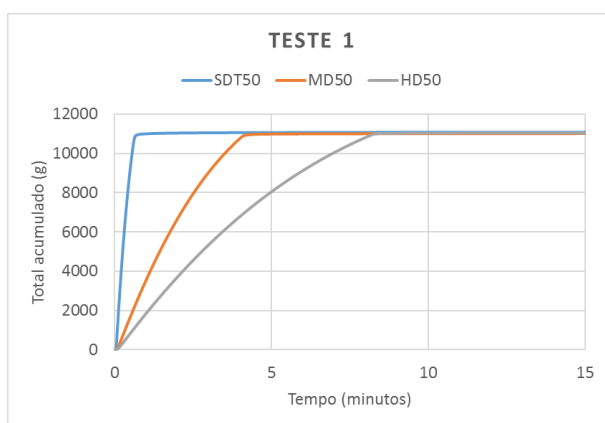


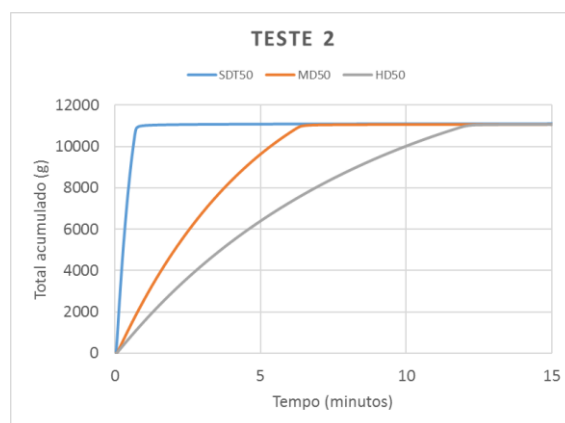
Figura 4.3- Total acumulado de todos os ensaios realizados à categoria HD50

Com a observação dos três gráficos anteriores, constata-se que apesar do cuidado na seleção das amostras, existe alguma dispersão entre os resultados. De forma a simplificar o processo de análise, procedeu-se a uma compilação de resultados. O tratamento dos resultados foi realizado recorrendo à média aritmética dos resultados de cada teste (1, 2 e 3) de cada um dos três provetes consoante a densidade da amostra. Portanto, a partir deste momento temos apenas três categorias, STD50, MD50 e HD50 (por exemplo dos provetes STD50_1, STD50_2 e STD50_3 fez-se a média aos três respetivos testes e atribui-se a referência STD50).

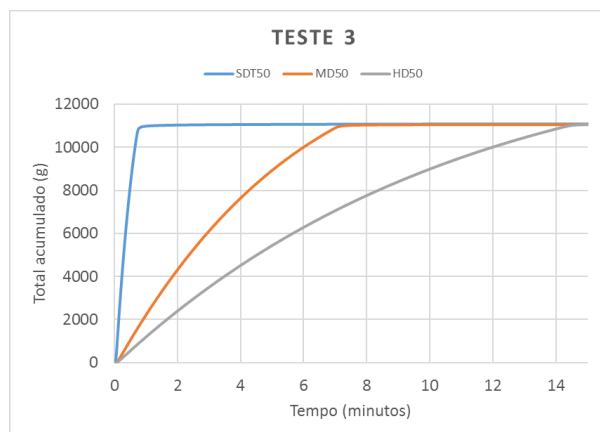
Na figura 4.4 apresenta-se os gráficos do total acumulado em gramas das três categorias, para os três testes.



a)



b)



c)

Figura 4.4 - Total acumulado das categorias STD50, MD50 e HD50 nos três testes: a) teste 1 corresponde à primeira drenagem, b) corresponde à segunda drenagem, 24h após o início do teste 1 e c) correspondente à terceira drenagem, 24h após o início do teste 2

Da figura 4.4, podemos retirar duas conclusões iniciais: a velocidade de drenagem é inversamente proporcional à densidade dos provetes e existem diferenças de comportamento do ICB entre os três testes. Para melhor compreensão destas observações apresenta-se de seguida a comparação entre as categorias STD50 e MD50 (figura 4.5).

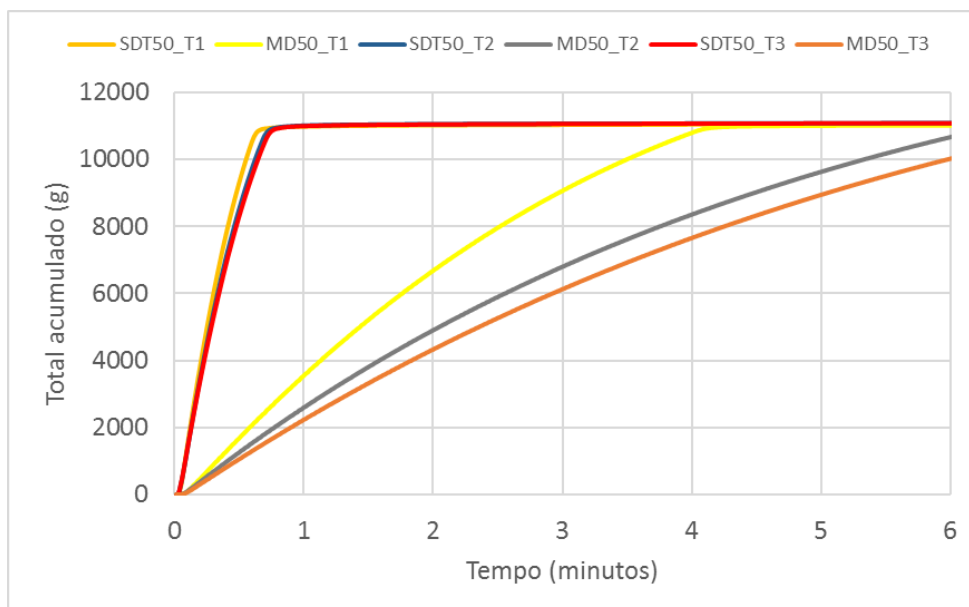


Figura 4.5- Total acumulado nas categorias STD50 e MD50

A drenagem na categoria STD50 é efetivamente mais rápida que na MD50, e verifica-se que a velocidade de drenagem decresce do teste 1 para o teste3, sendo mais evidente no MD.

Com base no total acumulado calcula-se para as categorias STD50, MD50 e HD50, o máximo acumulado, o período de tempo despendido para a drenagem de 25%, 50% e 75% da massa total de água colocada nos provetes (11250 g) e o caudal de ponta. Estes resultados apresentam-se na figura 4.6 e nas tabelas 4.2 e 4.3.

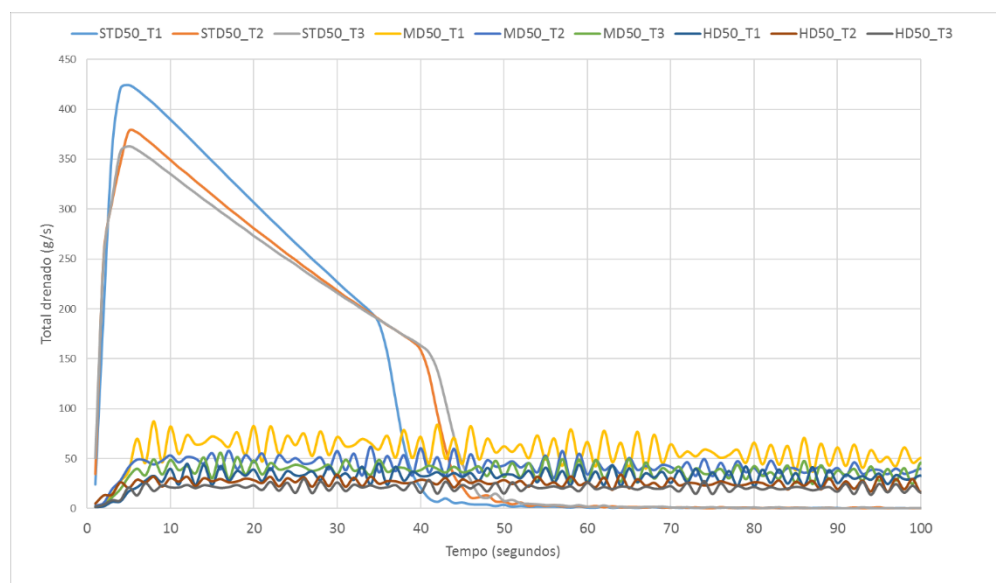


Figura 4.6- Registo dos caudais médios ao longo do tempo para as diferentes densidades nos três testes.

Tabela 4.2- Valores do máximo acumulado e do caudal de ponta das diferentes densidades

<i>ENSAIO</i>	<i>Máximo acumulado (g)</i>	<i>Caudal de ponta (g/s)</i>
STD50 TESTE 1	11081,35	424,208
STD50 TESTE 2	11102,69	377,886
STD50 TESTE 3	11106,87	362,95
MD50 TESTE 1	11018,79	87,388
MD50 TESTE 2	11073,16	61,894
MD50 TESTE 3	11073,24	56,016

HD50 TESTE 1	11053,21	45,35
HD50 TESTE 2	11068,22	33,984
HD50 TESTE 3	11088,94	29,646

Tabela 4.3- Período de tempo em segundos, despendido para drenar 25%, 50% e 75% da massa total de água colocada sobre provetes (11250 g).

<i>ENSAIO</i>	<i>25% drenado (s)</i>	<i>50% drenado (s)</i>	<i>75% drenado (s)</i>
STD50 TESTE 1	9	17	26
STD50 TESTE 2	10	18	29
STD50 TESTE 3	10	19	30
MD50 TESTE 1	47	98	162
MD50 TESTE 2	65	141	243
MD50 TESTE 3	75	162	275
HD50 TESTE 1	90	191	320
HD50 TESTE 2	112	253	449
HD50 TESTE 3	141	312	542

Com a tabela 4.2, verifica-se que a nível de total acumulado, durante as 24 horas, todas as categorias drenaram valores semelhantes, variando a velocidade com que o fizeram. Segundo a tabela 4.3 a velocidade de drenagem evolui de forma decrescente da categoria STD50 TESTE1 para a o HD50 TESTE3. A categoria STD50 é a que apresenta drenagem mais rápida, seguindo-se a MD50 e por fim a que apresenta drenagem mais lenta, a HD50.

O gráfico da figura 4.6, vem reforçar esta observação e permite constatar de forma clara, que os valores do caudal de ponta variam consideravelmente, desde 424(g/s) na categoria STD50 para 30(g/s) numa HD50. Estes valores revelam que a capacidade drenante da densidade HD pode ser condicionante e não ser viável. Comparando por exemplo os valores obtidos para o teste 1 de cada densidade, podemos afirmar que o STD50 é seis vezes mais rápido que o MD50 e 11 vezes mais rápido que o HD50.

Observa-se também com base nas duas tabelas anteriores que o ICB funciona melhor seco (teste 1) do que nos testes seguintes.

Com o total retido, obtido com as pesagens dos provetes antes e após os ensaios, é possível saber qual o ensaio que reteve maior massa de água. Calcula-se também o valor da evaporação/perdas cujo processo de cálculo se encontra no ponto 3.3.6. Estes valores apresentam-se na tabela 4.4.

Tabela 4.4- Valores de retenção e evaporação/perdas nos diferentes testes

<i>ENSAIO</i>	<i>Total retido (g)</i>	<i>Evaporação/perdas (g)</i>
STD50 TESTE 1	82,00	170,59
STD50 TESTE 2	60,20	184,87
STD50 TESTE 3	50,30	178,39
MD50 TESTE 1	108,50	192,46
MD50 TESTE 2	55,60	229,93
MD50 TESTE 3	42,30	221,81
HD50 TESTE 1	85,16	201,92
HD50 TESTE 2	63,50	217,21
HD50 TESTE 3	46,20	219,24

Atendendo que a retenção é um parâmetro importante numa cobertura verde, responsável pela redução dos caudais pluviais a drenar para os dispositivos de recolha, é pertinente verificar a capacidade de retenção do ICB. Com os resultados da tabela 4.4, observamos que a categoria que reteve o maior valor de água, foi a MD50 no teste 1, seguindo-se da HD50 no teste 1. No cálculo deste parâmetro não se verifica a coerência com o espectável já que se previa aumento da retenção proporcional à densidade, o que não se verifica.

Uma última consideração relativa à tabela 4.4 é o facto de os valores obtidos para o parâmetro evaporação/perdas serem aparentemente elevados. É de salientar também, que estamos perante um período de 24 horas por teste, em que a água na caixa está exposta ao ambiente. Refira-se que a drenagem ocorre maioritariamente nos primeiros minutos, o que pode potenciar uma evaporação elevada.

4.1.1.2 STD100, MD100 e HD100

O tratamento dos resultados para a espessura de 100 mm é idêntico ao tratamento efetuado para a espessura de 50 mm. Ou seja, também aqui se efetuou a média dos resultados dos três provetes de cada densidade, obtendo-se apenas três categorias, STD100, MD100 e HD100.

Os resultados das curvas do total acumulado de todos os ensaios realizados com a espessura de 100 mm apresenta-se no anexo II. Sendo de seguida apresentado o resultado das médias.

Na figura 4.3 apresenta-se o total acumulado em gramas, para os testes 1, 2 e 3 das diferentes densidades.

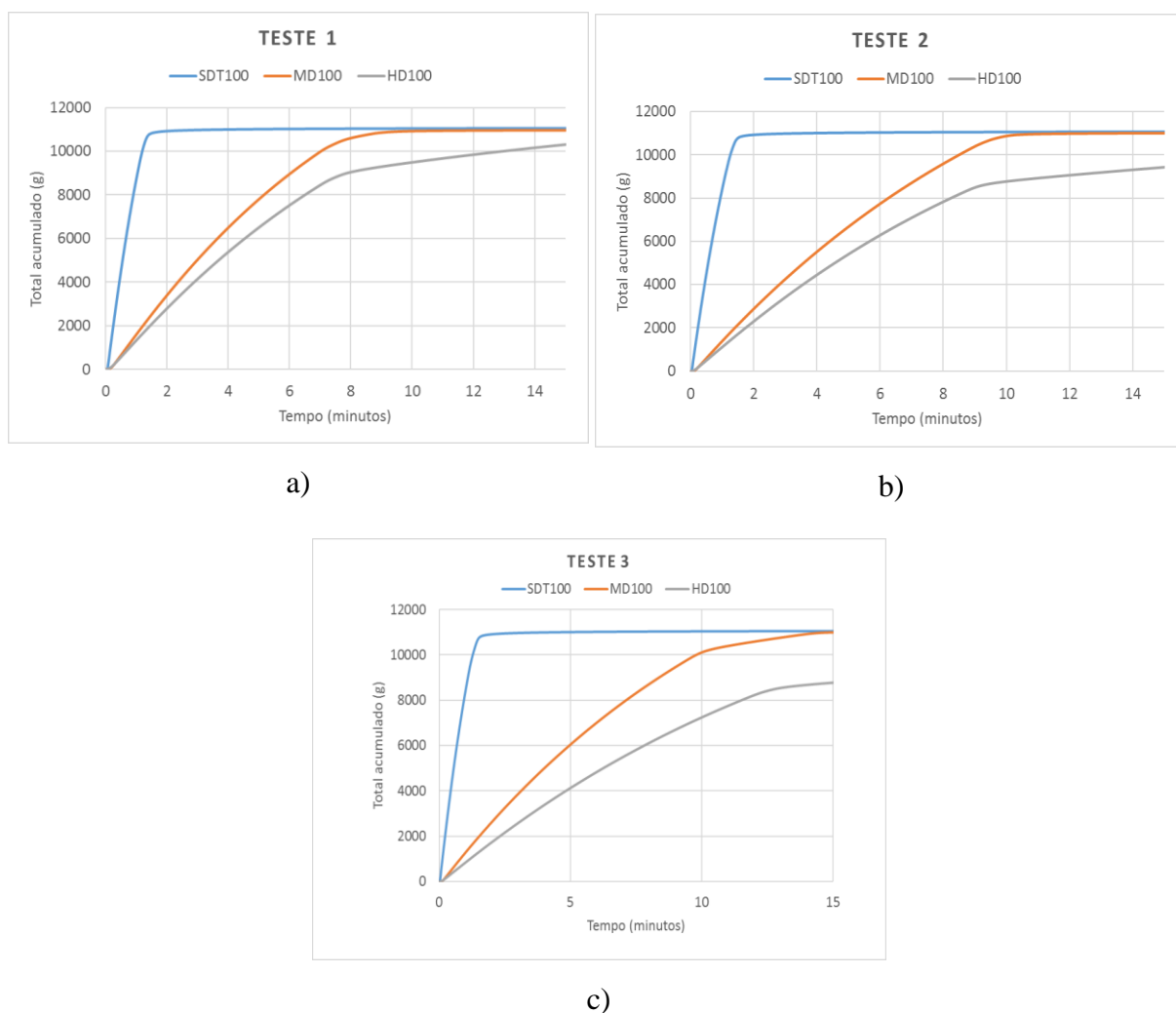


Figura 4.7- Total acumulado das categorias STD100, MD100 e HD100 nos três testes: a) teste 1 corresponde à primeira drenagem, b) corresponde à segunda drenagem, 24h após o início do teste 1 e c) correspondente à terceira drenagem, 24h após o início do teste 2

Mantendo a mesma linha de raciocínio que o desenvolvido no ponto anterior, de seguida na figura 4.8 e nas tabelas 4.5, 4.6, e 4.7 apresentam-se os valores obtidos para os parâmetros calculados para a espessura de 100 mm.

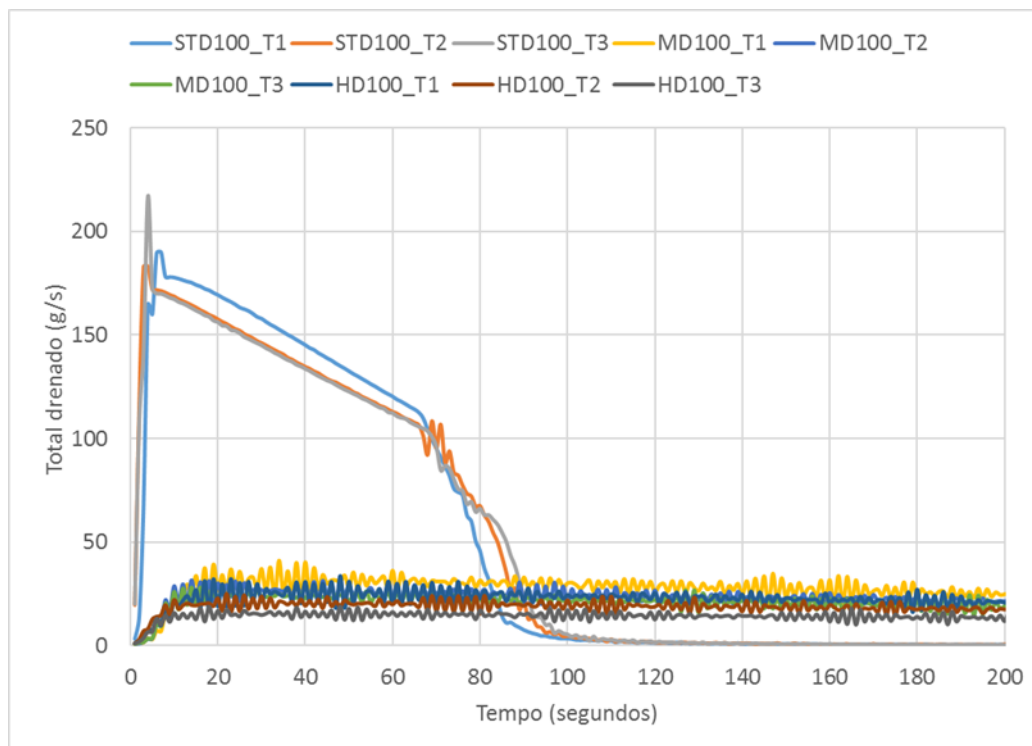


Figura 4.8 -Registo dos caudais médios ao longo do tempo para as diferentes densidades nos três testes.

Tabela 4.5- Valores do máximo acumulado e do caudal de ponta das diferentes densidades

<i>ENSAIO</i>	<i>Máximo acumulado (g)</i>	<i>Caudal de ponta (g/s)</i>
STD100 TESTE 1	11063,03	190,01
STD100 TESTE 2	11078,63	183,17
STD100 TESTE 3	11076,94	216,88
MD100 TESTE 1	10985,51	41,13
MD100 TESTE 2	11035,80	31,63
MD100 TESTE 3	11057,56	28,15

HD100 TESTE 1	10941,16	33,69
HD100 TESTE 2	10991,84	25,08
HD100 TESTE 3	11034,53	18,87

Tabela 4.6 – Período de tempo em segundos, despendido para cada categoria drenar 25%, 50% e 75% da massa total de água colocada nos provetes (11250 g)

<i>ENSAIO</i>	<i>25% drenado (s)</i>	<i>50% drenado (s)</i>	<i>75% drenado (s)</i>
STD100 TESTE 1	19	37	57
STD100 TESTE 2	18	37	60
STD100 TESTE 3	19	38	60
MD100 TESTE 1	100	203	332
MD100 TESTE 2	116	245	402
MD100 TESTE 3	129	275	458
HD100 TESTE 1	120	252	420
HD100 TESTE 2	146	314	534
HD100 TESTE 3	197	431	752

Segundo a tabela 4.5 e a figura 4.8, podemos verificar que em semelhança à espessura de 50 mm, a densidade STD apresenta maiores valores de caudal de ponta, oscilando entre 217 (g/s) na categoria STD100 no teste 3 a 19 (g/s) na categoria MD100 no teste 3. Com a tabela 4.6 reforça-se o já mencionado acerca da capacidade de drenagem das diferentes densidades, onde o STD é o mais eficiente e o HD o menos eficiente. Fazendo uma análise aos períodos de drenagem dos testes 1 das três densidades, observa-se que o STD100 é aproximadamente 5 vezes mais rápido que o MD100 e 12 vezes mais rápido que o HD100. Constata-se novamente que o desempenho do ICB é superior no teste 1 e decresce até ao teste 3. A nível de retenção e cálculo das perdas/evaporação, encontra-se os resultados na tabela 4.7.

Tabela 4.7- Valores de retenção e evaporação/perdas nos diferentes testes dos ensaios

<i>ENSAIO</i>	<i>Total retido (g)</i>	<i>Evaporação/perdas (g)</i>
STD100 TESTE 1	84,00	221,87
STD100 TESTE 2	60,50	226,50
STD100 TESTE 3	40,00	256,45
MD100 TESTE 1	173,50	205,54
MD100 TESTE 2	98,00	233,05
MD100 TESTE 3	68,50	236,96
HD100 TESTE 1	216,00	183,97
HD100 TESTE 2	179,50	166,66
HD100 TESTE 3	111,00	193,82

Relativamente aos valores de retenção, aqui sim, constata-se a coerência de valores esperados. A retenção aumenta proporcionalmente com a massa volúmica, em que o HD apresenta maior capacidade de retenção e o STD a menor. Terminando os resultados da espessura 100 mm, o valor das perdas/evaporação por ensaio continuam a apresentar valores aparentemente elevados.

Confrontando os resultados dos testes 1 do ensaio STD50 e STD100 (soluções mais eficazes dentro de cada espessura), percebe-se que a espessura também influencia o processo de drenagem. O STD50 é aproximadamente 2 vezes mais rápido que o STD100, o que é espectral, uma vez que a água tem de atravessar somente metade da espessura.

4.1.2 Drenante convencional

Neste ponto apresentam-se os resultados realizados a uma amostra de FD-25-E. A figura 4.9 contempla o gráfico do total acumulado em gramas. Com este material foi apenas realizado um teste, o material atinge a retenção máxima logo no primeiro ensaio, através da água que fica retida na estrutura do produto.

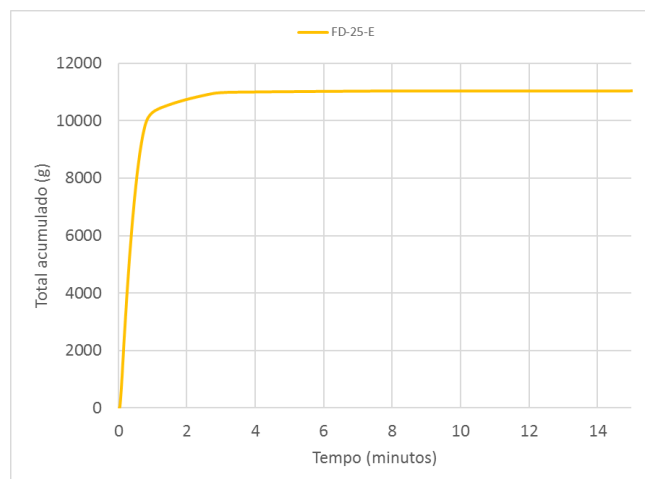


Figura 4.9 – Total acumulado da amostra FD-25-E

Analisando a curva do total acumulado, pode-se afirmar que o material apresenta um desempenho drenante semelhante ao STD50, atingindo o máximo acumulado aproximadamente aos três minutos. Na figura 4.10 apresenta-se o gráfico dos caudais médios ao longo do tempo e nas tabelas 4.8 e 4.9 o resultado do máximo acumulado, o caudal de ponta e o período de tempo gasto para a drenagem de 25%, 50% e 75% da massa total de água, respetivamente.

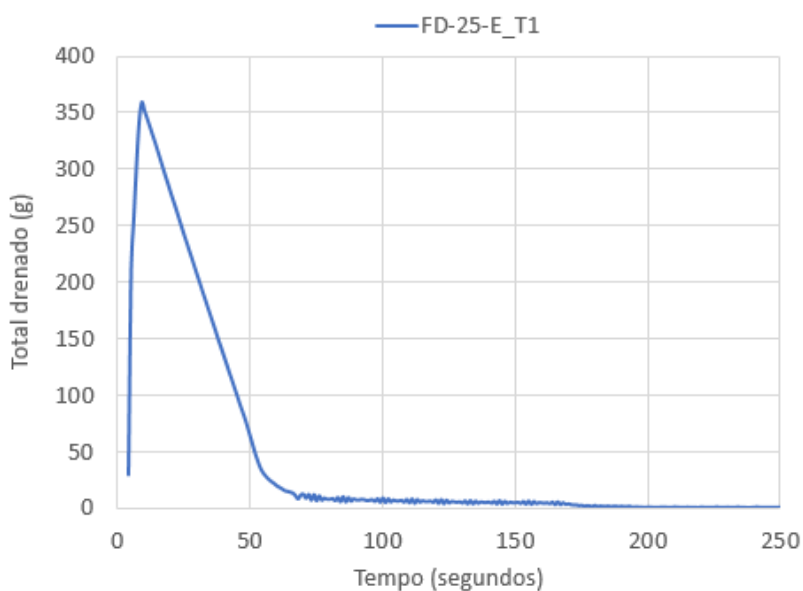


Figura 4.10 - Registo dos caudais médios ao longo do tempo

Tabela 4.8 – Valores do máximo acumulado e do caudal de ponta da amostra FD25-E.

<i>ENSAIO</i>	<i>Máximo acumulado (g)</i>	<i>Caudal de ponta (g/s)</i>
FD-25-E TESTE 1	11050,89	358,47

Tabela 4.9 – Período de tempo em segundos, despendido para a amostra drenar 25%, 50% e 75% da massa total de água colocada sobre os provetes (11250 g).

<i>ENSAIO</i>	<i>25% drenado (s)</i>	<i>50% drenado (s)</i>	<i>75% drenado (s)</i>
FD-25-E TESTE 1	10	20	34

Observando os resultados das tabelas e a curva do gráfico, pode-se concluir que o material apresenta valores de caudal de ponta na ordem dos 360 (g/s), sendo um drenante muito eficaz e drena 75% do volume total de água em aproximadamente meio minuto (amostra de 25 cm × 25 cm de área). Convertendo este valor para uma amostra de 1m², em aproximadamente 30 segundos o material drenará 135 litros de água.

Após a análise da drenagem, passa-se para a análise da retenção do material (tabela 4.11).

Tabela 4.10 - Valores de retenção de água para a amostra FD-25-E.

<i>ENSAIO</i>	<i>Total retido (g)</i>
FD-25-E TESTE 1	168,50

4.1.3 Sistema completo com ICB

Após a análise dos resultados para o drenante, neste ponto, apresentam-se os resultados para os ensaios realizados com o sistema completo (drenante, filtro e substrato). Os resultados apresentados de seguida, correspondem a quatro ensaios, dois com amostras de espessura de 50 mm e dois com amostras de 100 mm. Nesta fase, só se realizaram ensaios às densidades STD e MD, devido ao baixo desempenho drenante da densidade HD verificado na fase anterior.

A apresentação dos resultados neste ponto, vai dividir-se consoante o tipo dos provetes:

- Amostras de densidade STD na espessura 50 (STD50_SUBSTRATO);
- Amostras de densidade MD na espessura 50 (MD50_SUBSTRATO);

- Amostras de densidade STD na espessura 100 (STD100_SUBSTRATO);
- Amostras de densidade MD na espessura 100 (MD100_SUBSTRATO).

Para o sistema completo, preparou-se um provete para cada categoria.

4.1.3.1 *STD50_SUBSTRATO e MD50_SUBSTRATO*

Na espessura de 50 mm ensaiou-se um provete de cada densidade. Na figura 4.11 apresenta-se o total acumulado em gramas, para os testes 1, 2 e 3 (três testes sequenciais, cada um com duração de 24 horas).

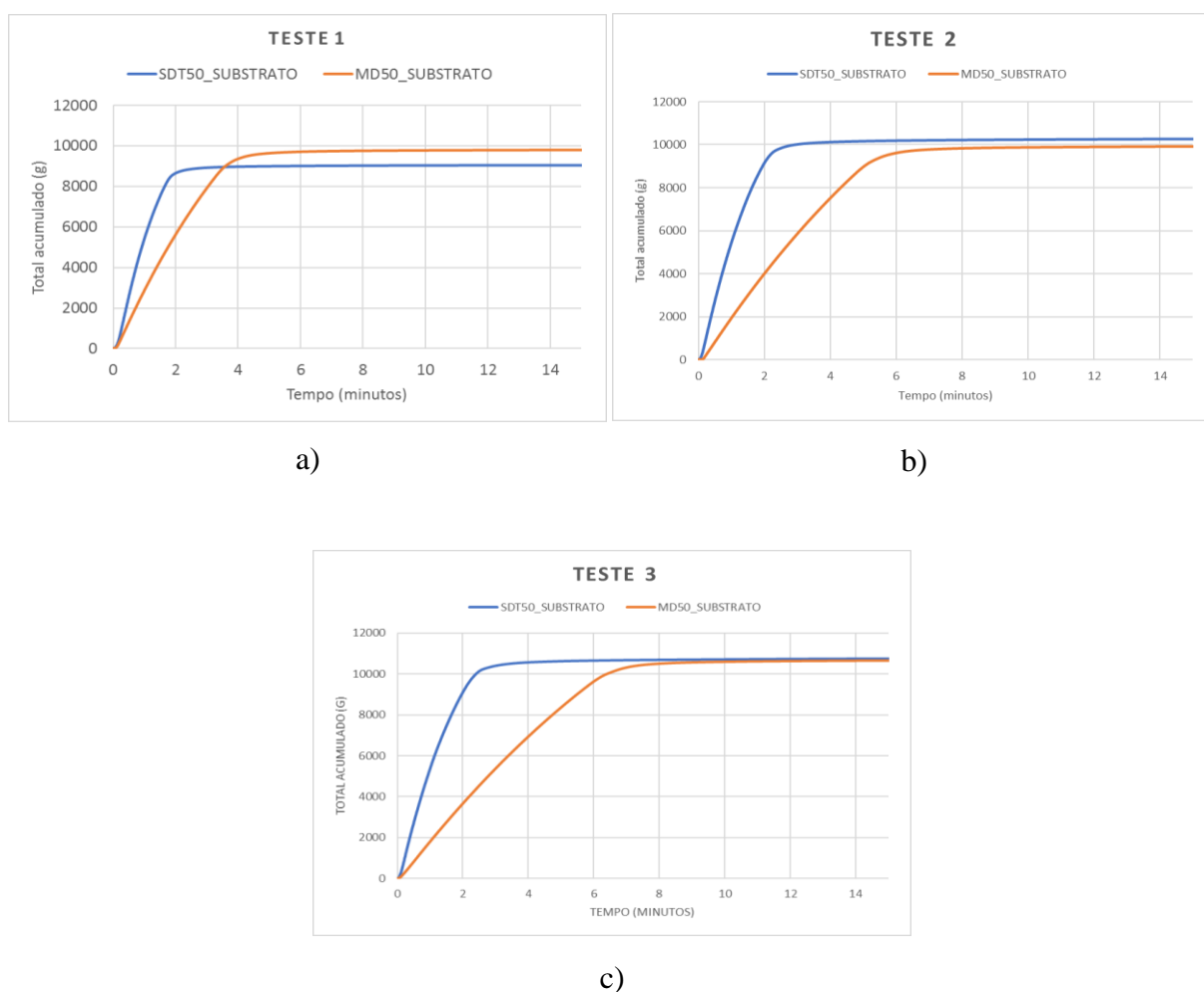


Figura 4.11- Total acumulado dos sistemas completos STD50 e MD50 nos três testes: a) teste 1 corresponde à primeira drenagem, b) corresponde à segunda drenagem, 24h após o início do teste 1 e c) correspondente à terceira drenagem, 24h após o início do teste 2

Como seria de esperar, com base nos gráficos, a presença da camada do substrato reduz o total acumulado, ou seja, o substrato retém parte da água no provete. Para melhor caracterização desta ação por parte do substrato, vamos examinar os resultados obtidos para outros parâmetros relativos à drenagem (figura 4.12 e tabelas 4.11 e 4.12).

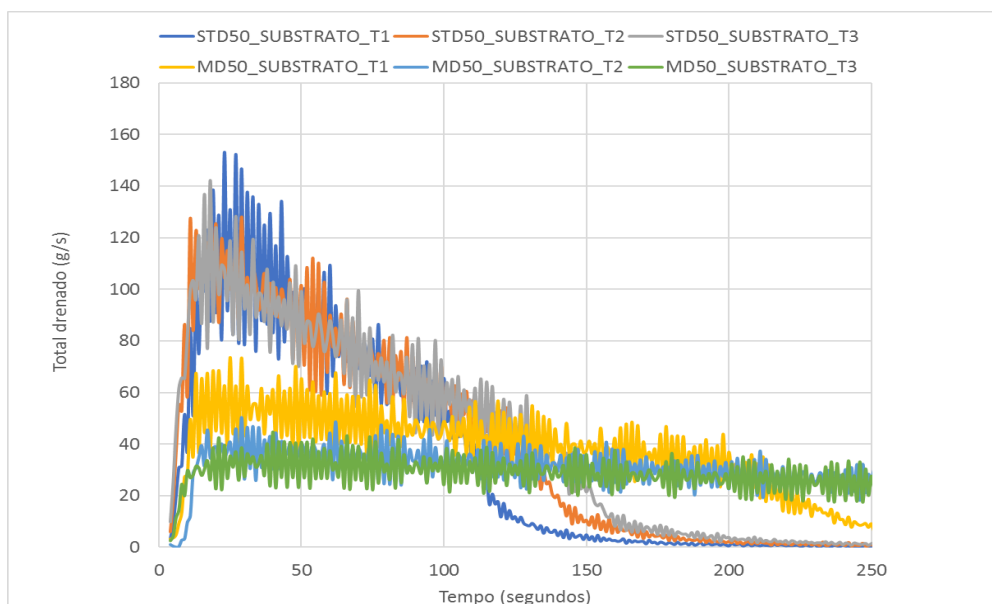


Figura 4.12 - Registo dos caudais médios ao longo do tempo para as diferentes densidades nos três testes em sistema completo

Tabela 4.11- Valores do máximo acumulado e do caudal de ponta dos sistemas completos

<i>ENSAIO</i>	<i>Máximo acumulado (g)</i>	<i>Caudal de ponta (g/s)</i>
STD50_SUBSTRATO TESTE 1	9054,48	153,144
STD50_SUBSTRATO TESTE 2	10398,57	128,018
STD50_SUBSTRATO TESTE 3	10885,99	142,212
MD50_SUBSTRATO TESTE 1	9833,05	73,56
MD50_SUBSTRATO TESTE 2	10021,24	50,346
MD50_SUBSTRATO TESTE 3	10775,06	44,726

Tabela 4.12 - Período de tempo em segundos, despendido para o sistema drenar 25%, 50% e 75% da massa total de água colocada sobre os provetes (11250 g).

<i>ENSAIO</i>	<i>25% drenado (s)</i>	<i>50% drenado (s)</i>	<i>75% drenado (s)</i>
STD50_SUBSTRATO TESTE1	32	62	109
STD50_SUBSTRATO TESTE2	31	62	105
STD50_SUBSTRATO TESTE 3	31	63	107
MD50_SUBSTRATO TESTE 1	59	120	195
MD50_SUBSTRATO TESTE 2	85	172	277
MD50_SUBSTRATO TESTE 3	92	189	303

Avaliando os resultados anteriores, a presença do substrato além de reter água, torna a drenagem mais lenta, observação sustentada com a redução dos caudais de ponta e com o aumento dos períodos de tempo que o provete demora a drenar 25%, 50% e 75% da massa total de água aplicado no mesmo.

Fazendo uma comparação entre o STD50_TESTE 1 e o STD50_SUBSTRATO_TESTE 1, verifica-se que a drenagem com a presença do substrato demora aproximadamente quatro vezes mais. Apresenta-se na tabela 4.14 os valores relativos à retenção de água e os valores calculados para a evaporação/perdas.

Tabela 4.13 - Valores de retenção e evaporação/perdas nos diferentes testes dos sistemas.

<i>ENSAIO</i>	<i>Total retido (g)</i>	<i>Evaporação/perdas (g)</i>
STD50_SUBSTRATO TESTE 1	2088,00	226,95
STD50_SUBSTRATO TESTE 2	693,00	247,33
STD50_SUBSTRATO TESTE 3	221,00	227,48
MD50_SUBSTRATO TESTE 1	1287,50	260,60
MD50_SUBSTRATO TESTE 2	1059,00	324,49
MD50_SUBSTRATO TESTE 3	285,00	316,25

Constata-se com estes valores, que o sistema STD50_SUBSTRATO retém cerca de 2088 (g) de água no teste 1 e o MD50_SUBSTRATO 1287.5 (g) no teste 1. Fazendo novamente uma analogia entre provetes só com a camada drenante e provetes com sistemas completos, verifica-se que a presença do substrato aumenta para aproximadamente 14 vezes o valor de retenção de água. Estes resultados a nível de retenção são muito interessantes, pois como já referido, a redução dos caudais pluviais a serem drenados pelos sistemas de recolha é uma das vantagens das coberturas verdes. O sistema montado no provete de área 0.0625m² consegue reter 2088 gramas de água, das 11250 que lhe são aplicadas, isto é equivalente a uma retenção na ordem dos 19%. Relativamente ao valor das perdas/evaporação, verifica-se que os valores mantêm a mesma ordem de grandeza, apesar de ligeiramente superiores.

4.1.3.2 STD100_SUBSTRATO e MD100_SUBSTRATO

Na espessura de 100 mm ensaiou-se uma amostra de cada densidade. Na figura 4.9 apresenta-se o total acumulado em gramas, para os testes 1, 2 e 3.

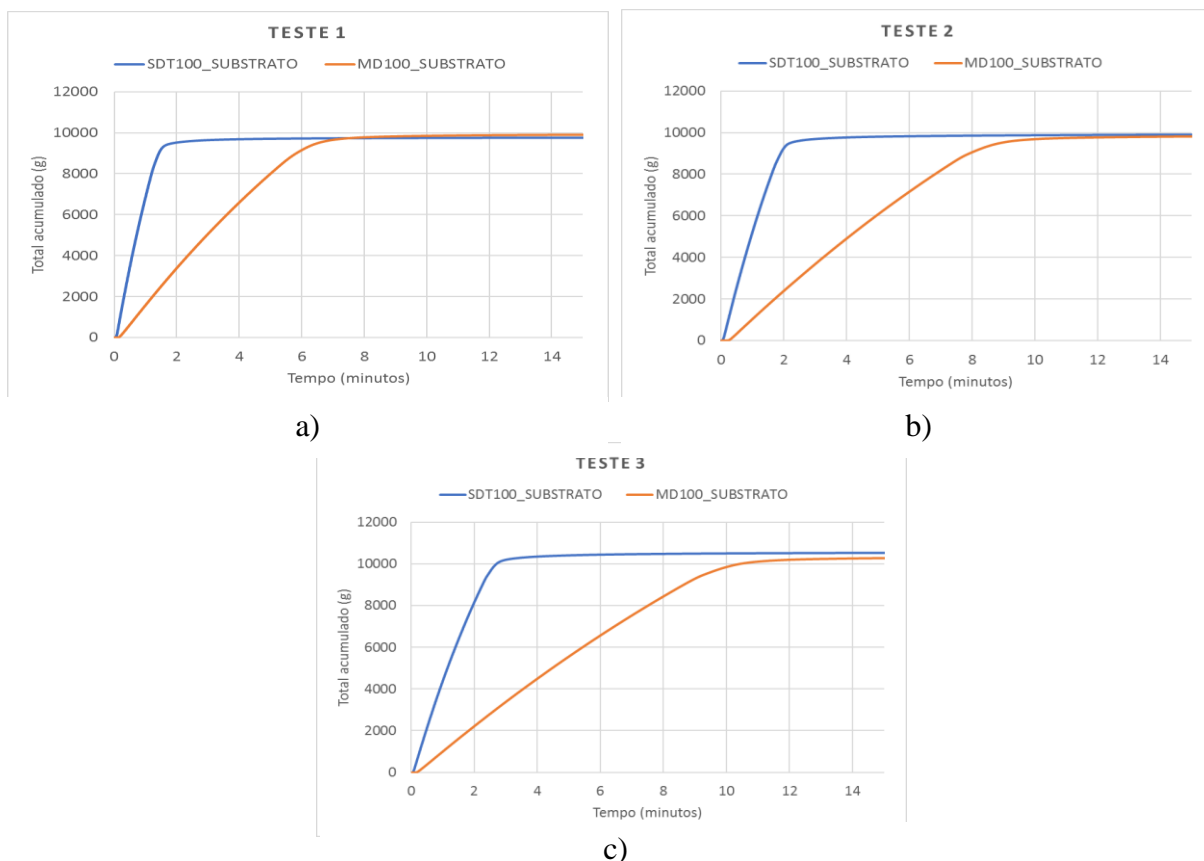


Figura 4.13- Total acumulado dos sistemas completos STD100 e MD100 nos três testes: a) teste 1 corresponde à primeira drenagem, b) corresponde à segunda drenagem, 24h após o início do teste 1 e c) correspondente à terceira drenagem, 24h após o início do teste 2

Neste ensaio verifica-se a mesma conclusão que no ponto anterior: o substrato é um agente essencial na retenção de água, reduzindo o total acumulado drenado pelos sistemas. Na figura 4.14 e nas tabelas 4.14 e 4.15, encontram-se os parâmetros relativos à drenagem.

Tabela 4.14 - Valores do máximo acumulado e do caudal de ponta dos sistemas completos

<i>ENSAIO</i>	<i>Máximo acumulado (g)</i>	<i>Caudal de ponta (g/s)</i>
STD100_SUBSTRATO TESTE 1	9754,94	173,25
STD100_SUBSTRATO TESTE 2	9970,45	124,65
STD100_SUBSTRATO TESTE 3	10646,69	108,90
MD100_SUBSTRATO TESTE 1	9950,78	43,19
MD100_SUBSTRATO TESTE 2	10008,56	31,68
MD100_SUBSTRATO TESTE 3	10533,47	28,00

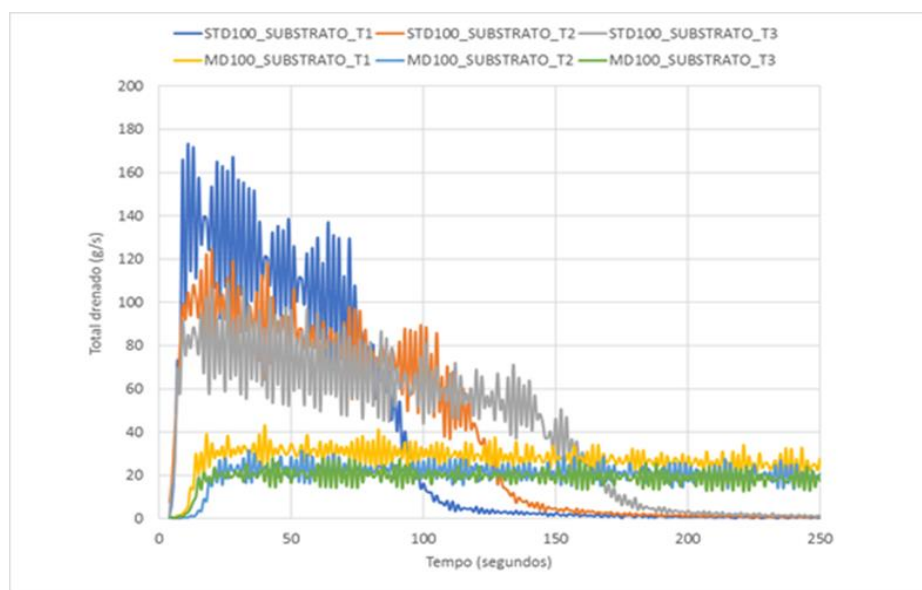


Figura 4.14 - Registo dos caudais médios ao longo do tempo para as diferentes densidades nos três testes em sistema completo

Tabela 4.15 - Período de tempo em segundos, despendido para o sistema drenar 25%, 50% e 75% da massa total colocada sobre os provetes (11250 g)

<i>ENSAIO</i>	<i>25% drenado (s)</i>	<i>50% drenado (s)</i>	<i>75% drenado (s)</i>
STD100_SUBSTRATO TESTE 1	25	48	77
STD100_SUBSTRATO TESTE 2	32	65	103
STD100_SUBSTRATO TESTE 3	38	78	125
MD100_SUBSTRATO TESTE 1	100	201	319
MD100_SUBSTRATO TESTE 2	139	276	435
MD100_SUBSTRATO TESTE 3	150	303	479

Como já anteriormente verificado, também aqui se confirma que o substrato torna o processo de drenagem mais demorado. Comparando os valores entre espessuras, drenante e sistema completo podemos fazer as seguintes observações:

- O STD50 é aproximadamente duas vezes mais rápido na drenagem que o STD100 a drenar uma certa massa de água.
- Comparando-se os valores de STD50_SUBSTRATO com STD100_SUBSTRATO, nota-se que esta discrepância de valores já não existe.

Estas duas observações podem levar a concluir que o substrato é a componente que mais condiciona a drenagem. Na tabela 4.16 constam os resultados a nível de retenção e evaporação/perdas, cujos resultados consolidam o já observado anteriormente.

Tabela 4.16 - Valores de retenção e evaporação/perdas nos diferentes testes dos sistemas

<i>ENSAIO</i>	<i>Total retido (g)</i>	<i>Evaporação/perdas (g)</i>
STD100_SUBSTRATO TESTE 1	1332,50	308,32
STD100_SUBSTRATO TESTE 2	1089,00	300,78
STD100_SUBSTRATO TESTE 3	423,50	272,41
MD100_SUBSTRATO TESTE 1	1122,50	310,97

MD100_SUBSTRATO TESTE 2	1021,00	324,11
MD100_SUBSTRATO TESTE 3	484,00	324,70

4.1.4 Sistema completo com drenante convencional

Neste ponto apresentam-se os resultados realizados a um ensaio de um sistema completo de FD-25-E. Na figura 4.11 apresenta-se o total acumulado em gramas, para os testes 1, 2 e 3 do sistema.

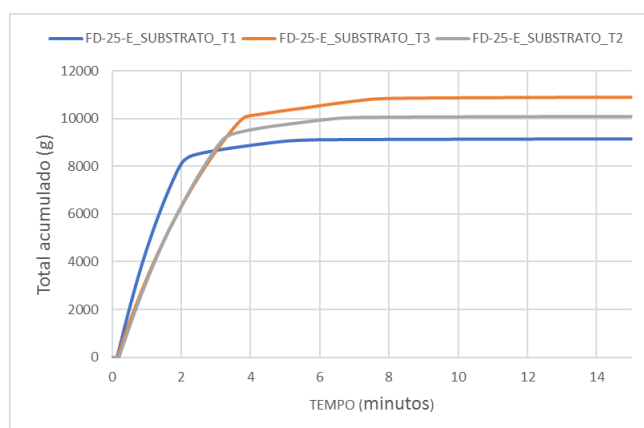


Figura 4.15- Total acumulado no sistema completo

Seguindo a mesma abordagem dos outros dois sistemas completos, apresenta-se na figura 4.16 e nas tabelas 4.17, 4.18 e 4.19 os restantes resultados obtidos nos ensaios.

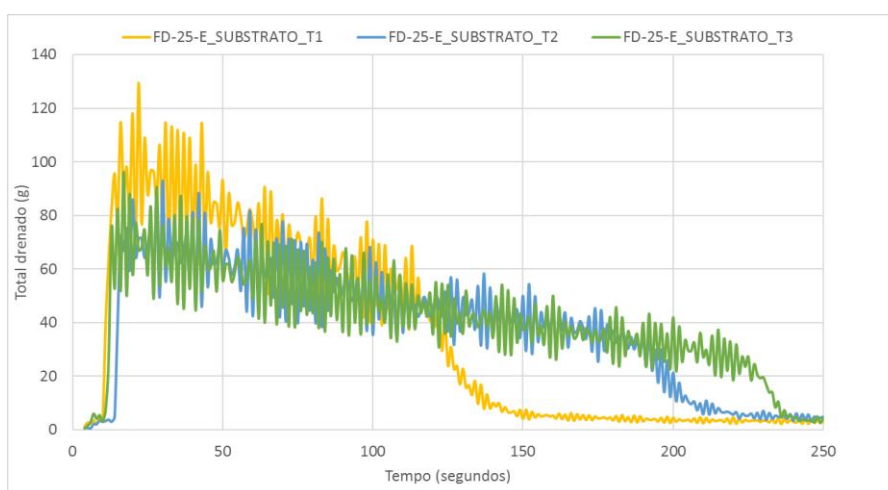


Figura 4.16 - Registo dos caudais médios ao longo do tempo nos três testes com o sistema completo

Tabela 4.17 - Valores do máximo acumulado e do caudal de ponta do sistema completo.

<i>ENSAIO</i>	<i>Máximo acumulado (g)</i>	<i>Caudal de ponta (g/s)</i>
FD-25-E_SUBSTRATO TESTE 1	9152,03	129,43
FD-25-E_SUBSTRATO TESTE 2	10103,29	92,93
FD-25-E_SUBSTRATO TESTE 3	10917,16	96,17

Tabela 4.18 - Período de tempo em segundos, despendido para o sistema drenar 25%, 50% e 75% da massa total de água colocada sobre os provetes (11250 g)

<i>ENSAIO</i>	<i>25% drenado (s)</i>	<i>50% drenado (s)</i>	<i>75% drenado (s)</i>
FD-25-E_SUBSTRATO TESTE 1	38	76	139
FD-25-E_SUBSTRATO TESTE 2	54	105	171
FD-25-E_SUBSTRATO TESTE 3	51	104	174

Tabela 4.19 - Valores de retenção e evaporação/perdas nos diferentes testes dos sistemas

<i>ENSAIO</i>	<i>Total retido (g)</i>
FD-25-E_SUBSTRATO TESTE 1	2022,50
FD-25-E_SUBSTRATO TESTE 2	1093,50
FD-25-E_SUBSTRATO TESTE 3	249,50

Relativamente à retenção é de salientar que o que o STD50_SUBSTRATO no teste 1 apresenta uma retenção ligeiramente superior ao FD-25-E_SUBSTRATO no teste 1.

4.2 Síntese dos resultados de drenagem vertical

Este ponto tem como objetivo conjugar os resultados apresentados para o ensaio de drenagem vertical, de modo a se poder ter uma relação entre os mesmos que permita retirar conclusões acerca do estudo realizado. Ao longo dos resultados deste procedimento, foram apresentadas algumas observações relativas ao comportamento do ICB que nesta fase são bastante pertinentes recordar:

- A categoria mais eficaz na drenagem é a STD, tendo uma drenagem aproximadamente cinco vezes mais rápida que a MD e onze vezes que a HD;
- Na espessura 50 mm a drenagem é aproximadamente duas vezes mais rápida que na de 100 mm em todas as densidades;
- O ICB apresentou melhor desempenho no teste 1 (seco) e decresce até ao teste 3;
- A categoria STD apresentou os valores de caudais de ponta mais elevados;
- A presença do substrato (análise dos sistemas completos) influencia e muito a retenção de água nos provetes (como seria de esperar), apresentando uma média de 16% de retenção nos testes 1 dos sistemas STD e FD-25-E.

Atendendo a estas considerações, estamos em condições de afirmar que a categoria STD50 é a melhor proposta das soluções de ICB relativamente à drenagem. É também de frisar que a nível económico é a categoria mais acessível. De seguida procede-se à comparação direta da categoria SDT50 com o FD-25-E. Esta comparação tem como objetivo comparar a melhor solução encontrada no ponto 4.1, com a solução tida como referência de boas práticas na drenagem de coberturas verdes.

A realização desta análise tem em consideração, provetes constituídos somente pelo drenante e provetes com o sistema completo. Por uma questão de coerência e simplificação do processo de interpretação, compara-se apenas os resultados para os testes 1. Na exposição desta análise recorre-se a resultados calculados no ponto 4.1, relativos aos seguintes parâmetros: total acumulado (figura 4.17 e 4.19), caudais médios ao longo do ensaio em função do tempo (figura 4.18 e 4.20), caudal de ponta, total retido e período de tempo despendido para a drenagem duma certa percentagem da massa total de água colocada sobre o provete.

De seguida, apresentam-se então a síntese dos resultados dos parâmetros calculados para a solução STD50 e FD-25-E nos testes 1.

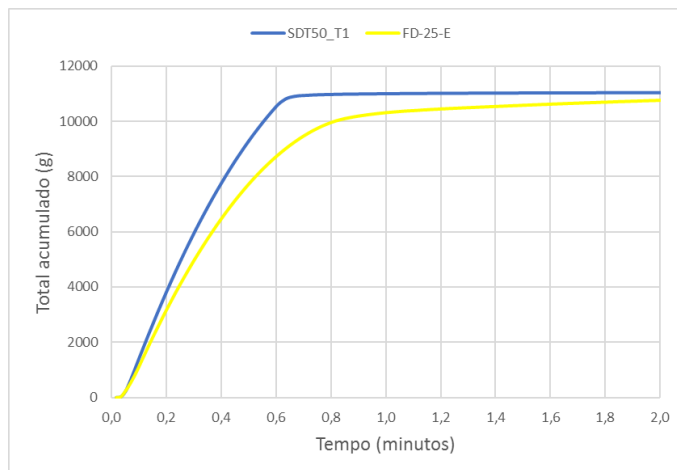


Figura 4.17 - Total acumulado nos testes 1 da solução STD50 e FD-25-E

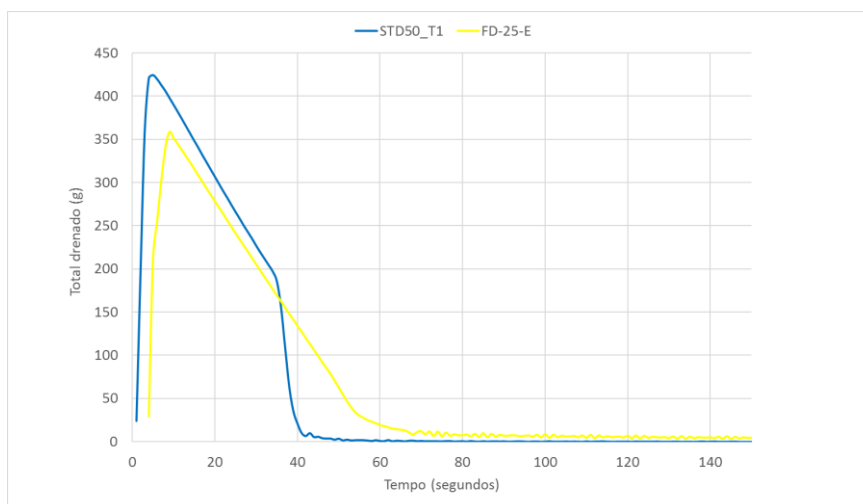


Figura 4.18 – Registo dos caudais médios ao longo do tempo para os testes 1 da solução STD50 e FD-25-E

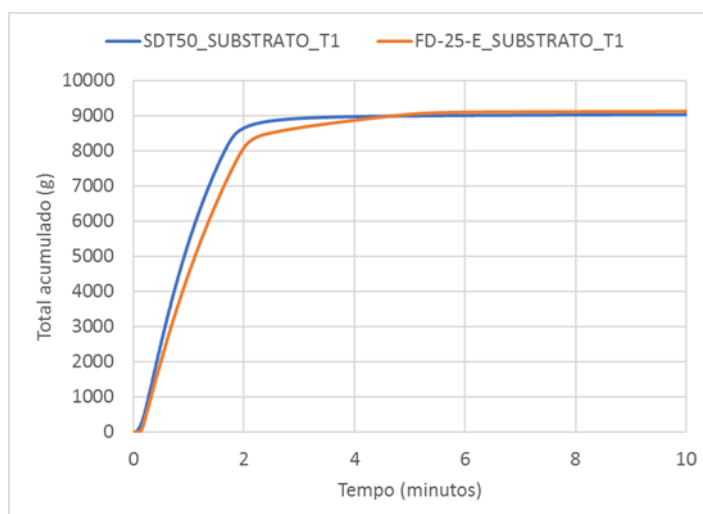


Figura 4.19 - Total acumulado nos testes 1 para o sistema completo STD50 e FD-25-E

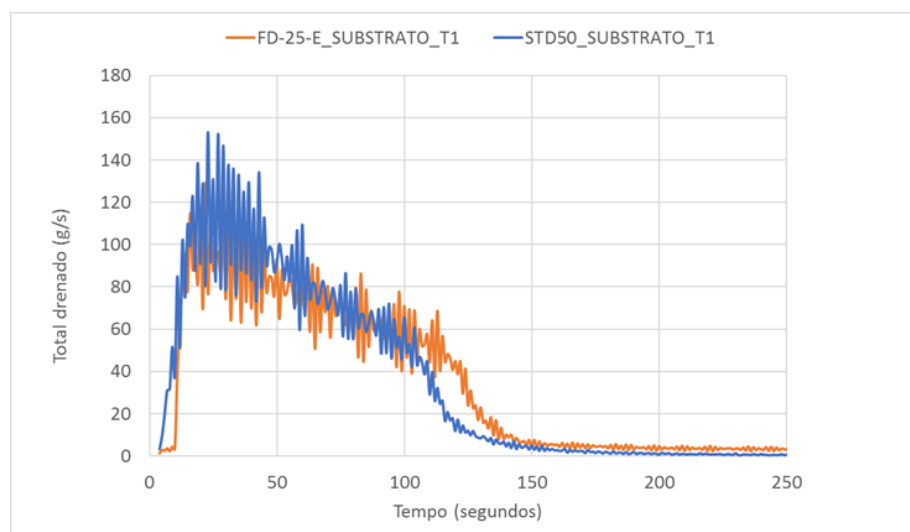


Figura 4.10 - Registo dos caudais médios ao longo do tempo para os testes 1 dos sistemas completos STD50 e FD-25-E

Tabela 4.20 – Valores do caudal de ponta, total acumulado e período de tempo em segundos, despendido para o sistema drenar 25%, 50% e 75% da massa total de água colocada sobre os provetes (11250 g)

<i>ENSAIO</i>	<i>Caudal de ponta (g/s)</i>	<i>Total retido (g)</i>	<i>25% drenado (s)</i>	<i>50% drenado (s)</i>	<i>75% drenado (s)</i>	<i>Melhor solução</i>
STD50 TESTE 1	424.2	82	9	17	26	STD50*
FD-25-E	358.5	168.5	10	20	34	
STD50_SUBSTRATO TESTE1	153.14	2088	32	62	109	STD50
FD-25-E_SUBSTRATO TESTE 1	129.43	2022.5	38	76	139	

*- a solução não apresenta o melhor valor para o parâmetro total retido

Com a interpretação dos gráficos anteriores, observa-se que as soluções apresentam um comportamento semelhante, sendo que a STD50 apresenta uma drenagem ligeiramente mais rápida.

Analisando o traçado das curvas dos provetes só com o material drenante, verifica-se que os caudais médios ao longo do tempo, nos primeiros instantes sofrem um aumento enorme e de

seguida decrescem, atingindo valores praticamente desprezáveis 50 segundos após o início do ensaio. Nos provetes com o sistema completo esta variação dos valores dos caudais é mais contida, devido à presença do substrato.

Por fim, analisando a tabela 4.20, para provetes somente com material drenante, a categoria STD50 apresenta melhores resultados nos parâmetros analisados exceto para o valor do total retido. Isto não significa que o ICB tenha menor capacidade de retenção, note-se que o ICB reteve água em todos os testes, enquanto que o FD-25-E esgota a capacidade de retenção nos primeiros instantes.

Para os provetes com o sistema completo, os resultados apresentados são consensuais, sendo o STD50 a melhor solução na drenagem.

Como conclusão mais generalizada, de todas estas comparações, pode-se concluir que as duas soluções apresentam aproximadamente um desempenho drenante semelhante. Mas na hipótese de escolha de apenas uma solução, considerando o procedimento experimental definido para o ensaio vertical e o tratamento aplicado aos resultados, reúnem-se condições para afirmar que a STD50 é a melhor solução na drenagem.

4.3 Resultados do procedimento de ensaio para drenagem horizontal

Neste ponto apresentam-se os resultados para o procedimento criado para drenagem horizontal. Analisando o aparato desenvolvido em laboratório, este procedimento reúne condições mais próximas às de uma cobertura verde, em que a drenagem é essencialmente horizontal e a área do provete de ensaio foi aumentada consideravelmente. Contrariamente ao procedimento anterior, é possível analisar o sistema em regime permanente e variável.

A apresentação dos resultados vai ser dividida em quatro partes, correspondente ao número de sistemas completos testados. É importante referir que os resultados apresentados são baseados nas observações registadas ao longo do ensaio e na medição do caudal máximo drenado.

Os resultados que se apresentam de seguida são essencialmente qualitativos, a parte quantitativa deste procedimento ainda se encontrava em desenvolvimento até à data de conclusão da campanha experimental realizada nesta dissertação. Futuramente a parte quantitativa deste ensaio contribuirá consideravelmente para a avaliação das soluções de ICB enquanto camada drenante.

4.3.1 STD50

O primeiro ensaio realizado neste procedimento, corresponde à categoria de ICB mais eficiente a nível de drenagem, a STD50, segundo os resultados do ensaio vertical. De seguida na tabela 4.21 apresentam-se os resultados observados às condições aplicadas durante o ensaio.

Tabela 4.21- Resultados do ensaio ao sistema completo STD50

Fases	Caudais	Capacidade drenante do sistema
Regime Permanente	Aplicação de 50% do caudal máximo dos aspersores (7 l/min)	BOA
	Aplicação de 100% do caudal máximo dos aspersores (14 l/min)	BOA
	Caudal máximo drenado	14 (l/min)
Regime Variável	Aplicação de 100% do caudal máximo dos aspersores (14 l/min) e adição de um caudal extra	SATISFATÓRIA
	Caudal máximo drenado	62.7 (l/min)
Observações: Ao longo do ensaio verificou-se um comportamento anormal do sistema, o substrato estava parcialmente a flutuar.		

Embora o sistema não tenha apresentado problemas na drenagem, constatou-se a existência de um problema no sistema, a aparente flutuação do substrato como relatado nas observações.

4.3.2 FD-25-E

O segundo ensaio realizado com este procedimento, corresponde ao drenante convencional usado em coberturas verdes, cujos resultados se apresentam na tabela 4.22.

Tabela 4.22- Resultados do ensaio ao sistema completo FD-25-E

Fases	Caudais	Capacidade drenante do sistema
Regime Permanente	Aplicação de 50% do caudal máximo dos aspersores (7 l/min)	BOA
	Aplicação de 100% do caudal máximo dos aspersores (14 l/min)	BOA
	Caudal máximo drenado	14 (l/min)
Regime Variável	Aplicação de 100% do caudal máximo dos aspersores (14 l/min) e adição de um caudal extra	SATISFATÓRIA
	Caudal máximo drenado	50.52 (l/min)
Observações: O sistema não apresentou nenhum comportamento anormal, não se tendo verificado o fenómeno do ensaio anterior relativo à flutuação do substrato.		

Comparando este sistema com o STD50, constata-se que o STD50 apresentou um caudal de drenagem máximo de 62.7 (l/min) superior ao do FD-25-E. Por sua vez o FD-25-E teve um comportamento regular ao longo do ensaio, enquanto que no STD50 houve flutuação parcial do substrato.

Tendo presente que o STD50 possui ótimas capacidades drenantes, surge como possível solução para a flutuação do substrato, a redução da área de contacto entre o ICB e o conjunto filtro e substrato para promover uma melhor drenagem imediatamente abaixo do substrato. De forma a entender-se a possível causa deste fenómeno, de seguida apresenta-se um esquema exemplificativo de um corte efetuado em ambos os sistemas (figura 4.21).

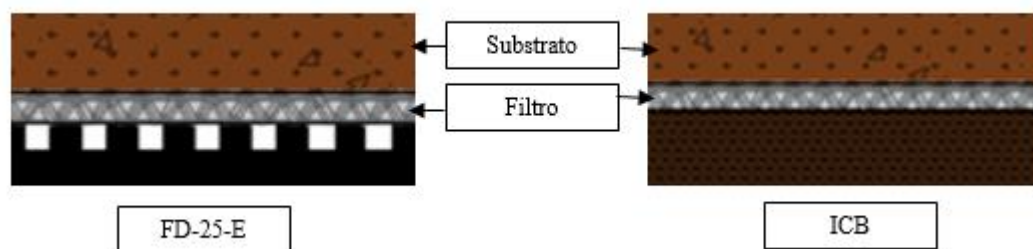


Figura 4.21 – Diferença entre as condições de fronteira entre o sistema com FD-25-E e o sistema com ICB (STD50)

Com a figura ilustrativa aos cortes nos dois sistemas observa-se que no sistema FD-25-E existe uma menor área de contacto entre o material drenante e o conjunto filtro/substrato, o que não acontece no STD50, que possui uma superfície lisa. Tendo esta hipótese como possível causa do problema, ensaiaram-se duas soluções com ranhuras de forma a reduzir a área de contacto.

4.3.3 Solução ICB MD50 “bar code”

Esta solução é constituída por uma espessura de 50 mm e uma densidade MD, diferencia-se da MD50 utilizada ao longo da campanha experimental pelo facto de apresentar uma superfície com ranhuras de grandes dimensões e uma lisa, como podemos verificar na figura 4.22.



Figura 4.22 – Solução MD50 “bar code”

De seguida na tabela 4.23 apresentam-se os resultados observados ao longo deste ensaio.

Tabela 4.23- Resultados do ensaio ao sistema completo solução MD50 “bar code”

Fases	Caudais	Capacidade drenante do sistema
Regime Permanente	Aplicação de 50% do caudal máximo dos aspersores (7 l/min)	BOA
	Aplicação de 100% do caudal máximo dos aspersores (14 l/min)	BOA
	Caudal máximo drenado	14 (l/min)
Regime Variável	Aplicação de 100% do caudal máximo dos aspersores (14 l/min) e adição de um caudal extra	BOA
	Caudal máximo drenado	69.26 (l/min)

Observações: O sistema teve um comportamento semelhante ao FD-25-E, não se verificando flutuação aparente do substrato. Observou-se também que devido às ranhuras de grandes dimensões da solução, grande parte da água foi drenada pelas ranhuras e não pelo material.

Com esta solução aparentemente resolveu-se o problema de flutuação do substrato, mas verificou-se que grande parte da água foi drenada pelas ranhuras, reduzindo o caudal que atravessa o material, como podemos ver na figura 4.23.



Figura 4.23 – Drenagem verificada na solução MD50 “bar code” à saída do dispositivo

4.3.4 Solução ICB STD50 com ranhuras

Por fim, testou-se uma última solução de ICB com a espessura de 50 mm e densidade STD, também esta solução apresenta ranhuras numa das superfícies (figura 4.24), mas de dimensões muito inferiores à da solução anterior (“bar code”).



Figura 4.24 – Solução STD50 com ranhuras

De seguida apresentam-se os resultados desta solução na tabela 4.24.

Tabela 4.24- Resultados do ensaio ao sistema completo da solução STD50 com ranhuras

Fases	Caudais	Capacidade drenante do sistema
Regime Permanente	Aplicação de 50% do caudal máximo dos aspersores (7 l/min)	BOA
	Aplicação de 100% do caudal máximo dos aspersores (14 l/min)	BOA
	Caudal máximo drenado	14 (l/min)
Regime Variável	Aplicação de 100% do caudal máximo dos aspersores (14 l/min) e adição de um caudal extra	BOA
	Caudal máximo drenado	66.30 (l/min)

Observações: O ensaio ocorreu sem flutuação aparente do substrato e não houve passagem considerável de água pelas ranhuras do material, como o sucedido na solução “bar code”.

Esta solução comparada com as outras soluções de ICB ensaiadas neste procedimento, foi a que apresentou um comportamento mais equilibrado ao longo do ensaio, não provocando flutuação de substrato, nem havendo problemas com o escoamento excessivo de água pelas ranhuras do material.

Fazendo um paralelismo entre esta solução e o FD-25-E, ambas tiveram um bom comportamento ao longo do ensaio, sendo que a STD50 com ranhuras apresentou um caudal máximo de 66.3 (l/min) enquanto que a solução FD-25-E drenou 50.52 (l/s). Conclui-se assim, que no geral a solução STD50 com ranhuras foi a que apresentou melhor comportamento como camada drenante.

4.4 Síntese dos resultados de drenagem horizontal

Este ponto tem como objetivo conjugar os resultados apresentados para a drenagem horizontal, de modo a se poder ter uma relação entre os mesmos que permita retirar conclusões acerca do estudo realizado.

No procedimento horizontal ensaiaram-se quatro soluções, três em ICB e uma em drenante FD-25-E. Note-se que o objetivo principal desta campanha experimental é estudar a viabilidade do ICB como camada drenante de uma cobertura verde. Como referência para a correta avaliação da permeabilidade do ICB temos o teste do material convencional (FD-25-E) e temos os valores dos caudais de precipitação máximos em Portugal a nível regulamentar de dimensionamento de coberturas, presentes no Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR). O estudo da precipitação realizado no capítulo 2 (ponto 2.6) com o presente regulamento, induziu ao cálculo de um caudal de referência para precipitação máxima de 2.1 (l/min/m²).

Inicialmente sujeitou-se o sistema a 4.7 (l/min/m²), tendo-se aumentado progressivamente o caudal.

Os valores de caudais máximos drenados pelos sistemas ensaiados com este procedimento são relativos a um provete com área de drenagem de 1.5 m². Desta forma, temos de converter os caudais drenados para valores correspondentes a 1m² de área, de seguida na tabela 4.25 apresentam-se os valores com a conversão adequada.

Tabela 4.25 – Valores dos caudais máximos drenados pelos sistemas em (l/min/m²)

<i>Soluções</i>	<i>STD50</i>	<i>FD-25-E</i>	<i>MD50 “bar code”</i>	<i>STD50 com ranhuras</i>
Caudais máximos	41,8	33,7	46,2	44,2

Comparando os valores dos caudais drenados pelas soluções ensaiadas com o valor máximo regulamentar para a precipitação, conclui-se que a capacidade de drenagem das soluções é muito superior aos valores máximos de precipitação definidos em Portugal. Esta diferença de valores permite induzir segurança ao sistema em situações de precipitação extremas, e permite também salvaguardar o desempenho da solução em situações de coberturas com grandes áreas (ou seja, numa cobertura devido à inclinação (pendente mínima de 2%) na drenagem, o ponto mais alto tem de drenar somente o valor da precipitação, e o ponto mais baixo tem de drenar o valor da precipitação e o acumulado ao longo da cobertura (maiores caudais), com a diferença de valores consegue-se garantir um intervalo de confiança ao desempenho da solução).

Terminando esta análise, note-se que qualquer solução de ICB foi mais rápida na drenagem que a solução tida como referência (FD-25-E).

5 CONCLUSÕES

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões obtidas com a realização desta dissertação, e ainda algumas sugestões de trabalhos futuros. Os objetivos propostos foram alcançados, tendo decorrido com sucesso os dois ensaios idealizados. O cariz experimental deste trabalho leva a que as suas conclusões devam ser analisadas sempre sabendo que deverão ser concretizadas com mais ensaios, de modo a garantir um grau de confiança desejado.

5.1 Principais conclusões

Esta dissertação consistiu no estudo experimental da permeabilidade do ICB, de modo a poder ser integrado como camada drenante na constituição de uma cobertura verde.

Na parte inicial estudaram-se alguns conceitos teóricos relativos às coberturas verdes, para potenciar e aperfeiçoar a campanha experimental realizada neste trabalho. Desta revisão bibliográfica conclui-se que as coberturas verdes são uma alternativa ecológica e eficaz em comparação às coberturas convencionais. Esta eficácia comprova-se pelos inúmeros benefícios que advêm desta metodologia. O objetivo principal desta dissertação reverte para a otimização de um desses benefícios, nomeadamente, a redução dos caudais pluviais a serem drenados, através de retenção de água no sistema das coberturas verdes.

Para tal, ao longo da campanha experimental desenvolveram-se e realizaram-se dois procedimentos experimentais. Um de drenagem vertical aplicado a amostras de duas espessuras (50 mm e 100 mm) e três densidades (STD, MD e HD). E outro, de drenagem horizontal aplicado a três soluções de ICB de espessuras 50 mm e a uma solução de referência convencional (FD-25-E). Destes ensaios, foram obtidos resultados que, posteriormente, foram tratados e analisados, apresentando-se as principais conclusões obtidas.

No procedimento vertical concluiu-se que:

- Em termos de comportamento geral o ICB é um material com boas capacidades drenantes, verificando-se que a densidade STD é a mais eficiente na drenagem.
- Comparando a eficiência entre as densidades, verificou-se que a drenagem na categoria STD é aproximadamente 5 vezes mais rápida que na MD e 11 vezes que na HD.

- A espessura das amostras também influenciam a permeabilidade, sendo a velocidade de drenagem na espessura de 50 mm, aproximadamente o dobro que na espessura de 100 mm.
- Para provetes só com a camada drenante a categoria mais eficaz foi a STD50.
- A presença do substrato contribuiu imenso para a retenção de água nos provetes. Na análise a sistemas completos, também se verificou que a categoria STD50 foi a mais eficiente na drenagem.
- Na comparação de provetes em ICB com provetes em FD-25-E, verificou-se por comparação direta de resultados que também a STD50 é mais competente na drenagem.

Por fim, no ensaio horizontal conclui-se que:

- As soluções de ICB analisadas apresentam caudais de drenagem máximos muito superiores ao exigido pelo regulamento (RGSPDADAR) a nível de precipitação máxima a considerar no dimensionamento de coberturas em Portugal.
- As soluções de ICB drenaram caudais máximos superiores à solução FD-25-E.
- Na solução STD50 e na solução “bar code” verificaram-se alguns comportamentos desadequados, sendo necessário fazer alguns ajustes ao sistema.

5.2 Propostas de trabalhos futuros

Para uma melhor perceção do comportamento drenante do ICB são essenciais a realização de mais ensaios de modo a perceber-se melhor o comportamento do material ao longo do tempo, uma vez que, os resultados obtidos apresentaram alguma dispersão.

A nível de trabalhos futuros sugere-se a realização de ensaios onde seja aplicado um maior número de drenagens consecutivas ao material de forma a perceber-se até que ponto a redução do desempenho verificada entre os três testes pode ser condicionante. Seria interessante também realizar ensaios para estudar a capacidade de secagem do ICB.

Por último, sugere-se dar continuidade aos ensaios de drenagem horizontal, avaliando variáveis tais como: espessura do ICB, tratamento da superfície em contacto com o filtro (dimensão e espaçamento de ranhuras), inclinação da cobertura, influência do tapete vegetal, etc).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

B. Rivela(*), I. Cuerda(*), F. Olivieri(*), C. Bedoya(*), J. Neila(*). (2013): “Análisis de Ciclo de Vida para el ecodiseño del sistema Intemper TF de cubierta ecológica aljibe”, 2012.

Carbone, M., Garofalo, G., Nigro, G., & Piro, P. (2014). A conceptual model for predicting hydraulic behaviour of a green roof. *Procedia Engineering*, 70, 266–274. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.030>.

Carter, T.; Fowler, L.: “Establishing Green Roof Infrastructure Through Environmental Policy Instruments”. *Environ. Manage.*, vol. 42, nº 1 (2008), pp. 151-164. doi:10.1007 / s00267-008-9095-5.

Fino, R. (2017). NUMERICAL AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE DRYING BEHAVIOUR OF MEDIUM DENSITY EXPANDED CORK BOARDS USED AS AN EXTERNAL COATING, 12(2), 315–325. <http://doi.org/10.2495/SDP-V12-N2-315-325>.

FFL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau). (2002). Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites. Retrieved from [http://www.greenroofsouth.co.uk/FLL Guidelines.pdf](http://www.greenroofsouth.co.uk/FLL%20Guidelines.pdf).

Gargari, C., Bibbiani, C., Fantozzi, F., & Campiotti, C. A. (2016). Environmental Impact of Green Roofing: The Contribute of a Green Roof to the Sustainable use of Natural Resources in a Life Cycle Approach. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, 646–656. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.087>.

Korol, E., & Shushunova, N. (2016). Benefits of a Modular Green Roof Technology. *Procedia Engineering*, 161, 1820–1826. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.673>.

Martins, F.D.P. (2010) “COBERTURAS VERDES SEU CONTRIBUTO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE”. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Universidade da Beira Interior.

Neila, F., Bedoya, C., & Acha, C. (2008). Las cubiertas ecológicas de tercera generación : un nuevo material constructivo. *Informes de La Construcción*, 60(511), 15–24. Retrieved from

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewArticle/742>.

Pinto, C.I.R.C. (2014) “Introdução às coberturas ajardinadas”. Tese de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto.

Raposo, F.M.F. (2013) “Manual de boas práticas de coberturas verdes”. Tese de Mestrado, Técnico de Lisboa, Lisboa.

Rivas, P. V., Olivieri, F., Olivieri, L., & Neila, J. (2010). Improving extensive green roofs and rainwater storage- quantitative analysis of the benefits, (September), 15–16.

Rodrigues, V.G.D.S. (2010) “Coberturas verdes: evolução, descrição, avaliação e perspetivas em Portugal” Tese de Mestrado em Engenharia para a Energia, Universidade de Coimbra, Coimbra.

Rosário Fino, Nuno Simões, António Tadeu (2014) “Exterior insulation and finishing system using medium density icb material characterization”. IAHS World Congress 2014. 16 – 19 de Dezembro, Funchal, Portugal.

Roseta, M.O.Z.D.C. (2013) “Estudo laboratorial e em condições reais sobre o aglomerado de cortiça expandida aplicado como revestimento exterior”. Instituto superior de engenharia de Lisboa, Lisboa.

Takebayashi, H.; Moriyama, M.: “Surface heat budget on green roof high reflection roof for mitigation of urban heat island”. Build. Environ., vol. 42, nº 8 (2007), pp. 2971-2979. doi:10.1016 / j.buildenv.2006.06.017.

Referências das imagens

Figura 2.2 a): <https://ecotelhado.com/cinco-exuberantes-projetos-de-telhados-verdes>

Figura 2.2 b): <https://br.pinterest.com/pin/447897125414257481/>

Figura 2.3: <http://www.manuaisdeescopo.com.br/News/2013/07/29/Impermeabilizacao-em-coberturas-verdes>

Figura 2.4: (<https://arquiteturaesustentabilidade.wordpress.com/2012/10/01/telhado-verde-tipos-e-implementacao>)

ANEXOS

ANEXO I

Este anexo contempla toda a informação relativa aos registos efetuados ao longo do procedimento experimental para drenagem vertical.

Provete	Data	Hora	Peso seco (g)	TESTE 1			TESTE 2			TESTE3		
				T D A (s)	Peso antes (g)	Peso após (g)	T D A (s)	Peso Antes (g)	Peso após (g)	T D A (s)	Peso Antes (g)	Peso após (g)
STD50_1	22-02-2016	14:45	7105	7	7105	7193	7	7193	7243	7	7243	7287
MD50_1	02-03-2016	14:25	7006	7	7006	7131	8	7131	7176.5	7	7175.5	7228.5
HD50_1	07-03-2016	14:00	7819.5	7.9	7819.5	7914.5	7.5	7913.5	7972	7.2	7971	8010.5
STD100_1	14-03-2016	14:20	7845.5	7.5	7845.5	7929.5	7.5	7928.5	7990	8.2	7990	8030
MD100_1	30-03-2016	14:15	7128.5	7.4	7128.5	7302	7.7	7302	7400	7.8	7400	7468.5
HD100_1	04-04-2016	14:05	7892	7	7892	8108	8	8108	8287.5	7.4	8287.5	8398.5
STD50_2	19-04-2016	14:20	6590	9	6590	6658	7.6	6658	6712	7.1	6712	6766.5
MD50_2	02-05-2016	14:11	6682.5	9	6682.5	6784.5	7.2	6784.5	6855	8.4	6855	6902.5
HD50_2	16-05-2016	15:15	7680	8.3	7680	7767.5	7.5	7767.5	7839.5	8.2	7839.5	7887
STD100_2	31-05-2016	14:34	7989	7.7	7989	8076.5	7.5	8076.5	8137.5	7.9	8137.5	8191
MD100_2	06-06-2016	11:45	7541.5	7.2	7541.5	7727.5	7.3	7727.5	7796.5	7.8	7796.5	7872
HD100_2	21-06-2016	11:25	7386.5	7.4	7386.5	7589	7.6	7589	7734	7	7734.5	7834.9
STD50_3	27-06-2016	14:25	6568.5	7.6	6568.5	6658	7.9	6658	6734.5	8.6	6734.5	6787
MD50_3	05-07-2016	14:50	6795	7.7	6795	6893.5	7.4	6893.5	6944.5	7.5	6944.5	6971
HD50_3	11-07-2016	14:20	7832.5	7	7832.5	7905.5	7.2	7905.5	7965.5	8	7965.5	8017
STD100_3	18-07-2016	12:00	7925.5	7.4	7925.5	8029	8	8029	8092.5	7.5	8092.5	8146.5
MD100_3	25-07-2016	12:05	7073.5	7.8	7073.5	7183	6.8	7183	7292.5	7.5	7292.5	7374.5
HD100_3	01-08-2016	11:00	7589	7.4	7589	7589.5	7.6	7819.5	7948	7.3	7948	8037.5

Provete	Data	Hora	Peso seco (g)	TESTE 1			TESTE 2			TESTE 3		
				T D A (s)	Peso antes (g)	Peso após (g)	T D A (s)	Peso Antes (g)	Peso após (g)	T D A (s)	Peso Antes (g)	Peso após (g)
MD100_Acrílico	17-10-2016	10:45	7270.5	6.5	7270.5	7524.5	6.7	7524.5	7536	7	7536	7544
STD100_Acrílico	24-10-2016	14:47	7042.5	7.3	7042.5	7233.5	6.8	7233.5	7257.5	7	7257.5	7279
STD50_Substrato	31-10-2016	11:10	9693	7.4	9693	11781	8.4	11781	12474	7.9	12474	12695
STD100_Substrato	07-11-2016	11:15	11012.5	7.1	11012.5	12345	7.2	12345	13434	9	13434	13857.5
MD100_Substrato	14-11-2016	10:35	10225	9.1	10225	11347	7.6	11347	12369	7.1	12369	12852.5
MD50_Substrato	21-11-2016	11:30	10072.5	8.4	10072.5	11360	7.8	11360	12419	8	12419	12704
FD-25-E	24-11-2016	12:00	7366.5	7.5	7366.5	7535	-	-	-	-	-	-
FD-25-E_Substrato	04-12-2016	16:25	10577	6.5	10577	12599	5.5	12599	13683	7.4	13683	13942.5

TDA - corresponde ao tempo de colocação da água nos provetes em segundos, contabilizado com um cronómetro.

ANEXO II

Neste anexo apresentam-se as curvas de total acumulado de todos os provetes de espessura 100 mm.

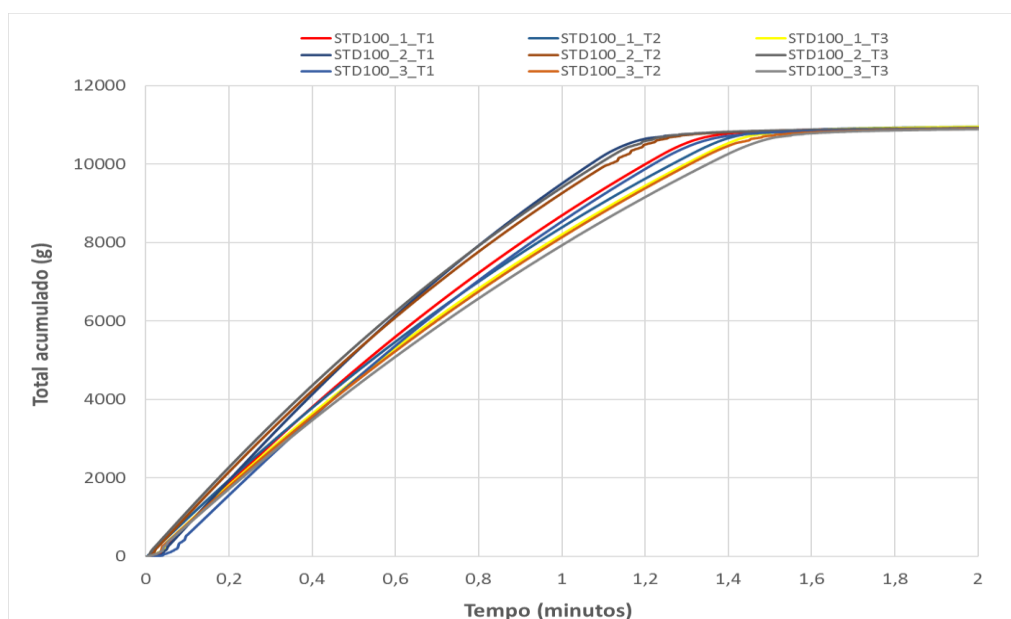


Figura 7.1- Total acumulado nos provetes da categoria STD100

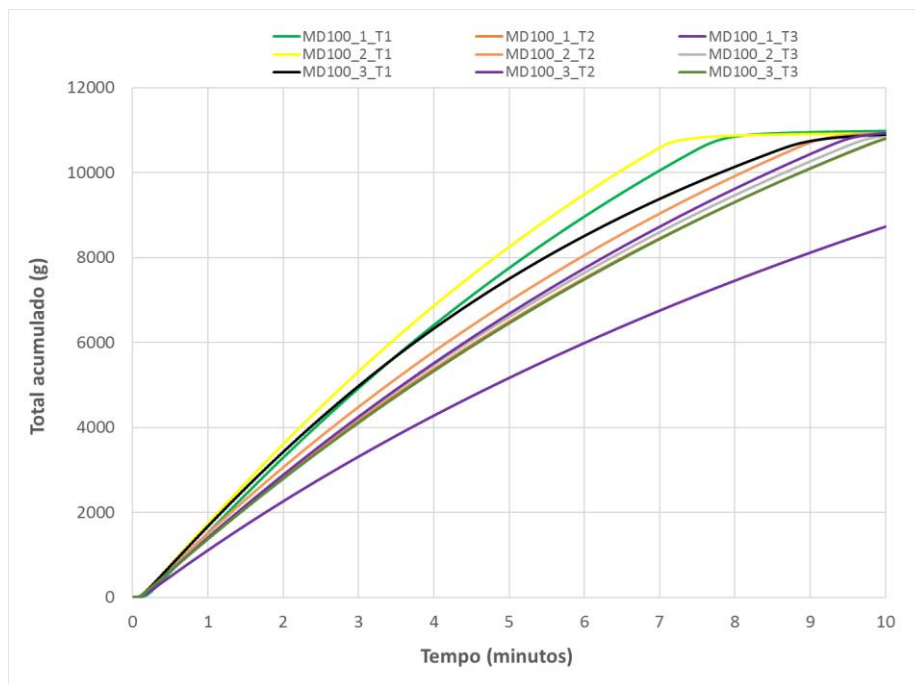


Figura 7.2- Total acumulado nos provetes da categoria MD100

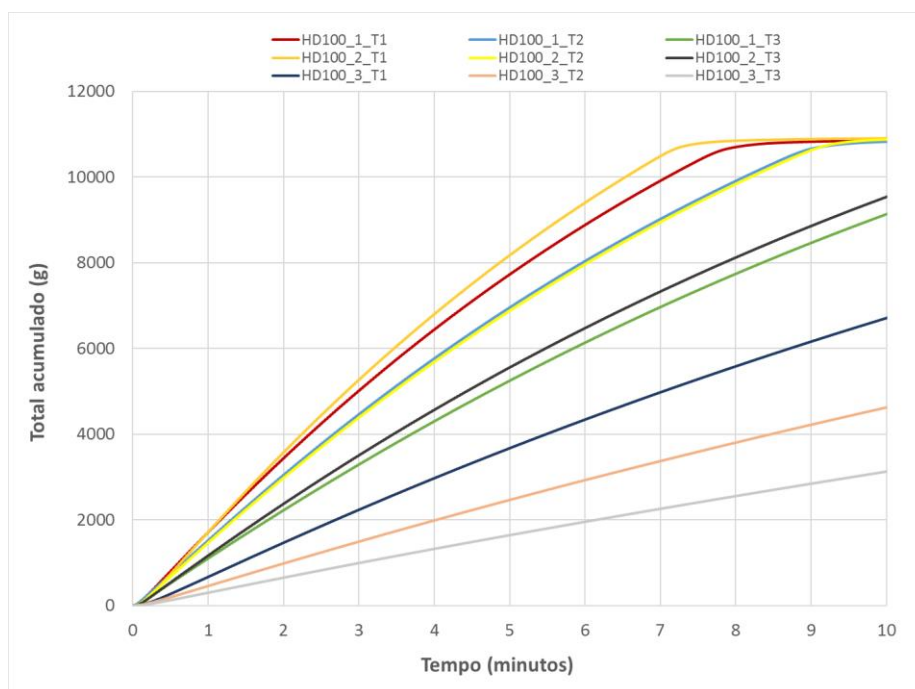


Figura 7.3- Total acumulado nos provetes da categoria HD100

ANEXO III

Neste anexo apresentam-se as fichas técnicas do substrato e do FD-25-E.



Natureza e qualidade do substrato técnico para *Sedum*, Landlab:

Substrato técnico para *Sedum*, Landlab – desenvolvido segundo a normativa FLL; constituído por componentes especiais com base mineral, que lhe conferem uma textura meia-grossa, capilaridade e drenagem elevadas e equilibradas. Este substrato caracteriza-se por apresentar uma elevada componente mineral, isento de parasitas, espécies infestantes e germes fito patogénicos e grande resistência estrutural.

Composição do substrato técnico para *Sedum*, Landlab:

- Húmus de casca de pinho fermentado e certificado, granulometria 0-15mm
- Turfa loura seleccionada, granulometria 0-40 mm
- Argila Expandida - granulometria 2/4mm
- Rocha vulcânica especial, granulometria 3-9mm
- pH corrigido para 5.5-6.5
- Densidade específica: 750-850kg/m³ humidade natural (50-60%)
- Densidade quando saturado: 900-1000 kg/m³
- Capacidade de ar CA (AC): 37.3% v/v
- Taxa de água facilmente utilizável AFA (EAW): 6.8% v/v
- Taxa de água de reserva AR (WBC): 1.4% v/v
- Densidade aparente do substrato húmido (Dap h): 0.893
- Densidade aparente do substrato seco (Dap s): 0.687
- Taxa de contracção do volume do substrato por secagem: 11.49%
- Taxa de matéria orgânica: 13.8%
- Taxa de matéria seca: 82.2%

Figura 7.4 - Ficha técnica do substrato



Ficha técnica

Floradrain®

Referência 3028

FD 25-E



Dados técnicos

Floradrain® FD 25-E
Elemento de drenagem e retenção de água fabricado em polietileno reciclado.

Material:	HDPE (polietileno de alta densidade)
Cor:	Cinzento escuro
Altura:	aprox. 25 mm
Peso:	aprox. 1,7 kg/m ²
Diâmetro das aberturas de difusão:	aprox. 2 mm
Capacidade de retenção de água:	aprox. 3 l/m ²
Volume de enchimento:	aprox. 10 l/m ²
Resistência à compressão (vazio):	> 270 kN/m ²
Capacidade de drenagem em superfície (EN ISO 12958):	
com 1 % de pendente:	aprox. 0,59 l/(s·m)
com 2 % de pendente:	aprox. 0,85 l/(s·m)
com 3 % de pendente:	aprox. 1,05 l/(s·m)
Dimensões:	aprox. 1,00 m x 2,00 m

Elemento de drenagem e retenção de água de polietileno reciclado, resistente à pressão, para instalação em coberturas ajardinadas de tipo extensivo.



Clips de união de plástico

Reciclado para melhorar o meio ambiente

Figura 7.5 – Ficha técnica do FD-25-E