



André Alexandre Nunes Bernardino

# DESEMPENHO TÉRMICO DE REVESTIMENTOS DE COBERTURA UTILIZANDO A TÉCNICA DA TERMOGRAFIA

THERMAL PERFORMANCE OF ROOF CLADDINGS USING THE INFRARED THERMOGRAPHY

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções,  
orientado pelo Professor Doutor Nuno Albino V. Simões e pelo Professor Doutor António José Barreto Tadeu

Setembro/2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



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

André Alexandre Nunes Bernardino

# **Desempenho Térmico de Revestimentos de Cobertura Utilizando a Técnica da Termografia**

## **Thermal Performance of Roof Claddings using the Infrared Thermography**

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil / Ambiente, na área de Especialização em Construções,

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.  
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer  
responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões  
que possa conter.

Coimbra, 6 de Setembro de 2018

## Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador Professor Doutor Nuno Simões pelo apoio, pela orientação ao longo deste trabalho e pela oportunidade de trabalhar neste projeto.

Agradeço também à Doutora Inês Simões e à Doutora Catarina Serra que me ajudaram nas análises laboratoriais e sempre se mostraram disponíveis para tirar qualquer dúvida.

Agradeço ao IteCons por permitir participar neste projeto de investigação e aos seus colaboradores pelo auxílio sempre que foi necessário.

Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto GRLF - Conceção e caracterização de coberturas verdes e fachadas vivas construídas com sistemas estruturados em cortiça natural expandida, com o número de projeto POCI-01-0145-FEDER-016852.

Agradeço à minha família principalmente aos meus pais e à minha irmã, por sempre me terem apoiado nestes longos anos, sendo o suporte necessário para concluir esta dissertação.

Agradeço à minha namorada por me ter apoiado em todos os momentos, mesmo quando as coisas não corriam da maneira como eu queria, assegurando que me mantinha focado e concentrado a 100%.

E sem nunca esquecer os amigos que Coimbra me deu e que foram fundamentais para o meu crescimento enquanto pessoa e como futuro Engenheiro Civil.

Com a Colaboração :



## Resumo

Atualmente, na construção civil, uma das grandes preocupações que existe é o conforto das pessoas, e é nesse sentido que têm sido feitos muitos estudos sobre novos tipos de construção que sejam ao mesmo tempo ecológicos e que proporcionem melhores condições de conforto acústico e térmico. Uma das soluções são as coberturas verdes que em Portugal começam a ser mais utilizadas, enquanto que noutros países como a Alemanha, esta tecnologia já é bastante utilizada por ter mais vantagens na componente ambiental, bem como na parte térmica.

Este tipo de solução permite uma redução suplementar do efeito de ilha de calor pelo facto de estas terem uma capacidade de absorção de energia superior às coberturas tradicionais, reduzindo assim a energia refletida.

Sendo uma solução sustentável torna-se muito interessante que mais países criem políticas de incentivo para que sejam implementadas mais coberturas verdes, melhorando tanto o aspeto estético das grandes cidades urbanas, bem como em termos de desempenhos térmicos e acústicos.

Para avaliar o comportamento térmico das coberturas verdes, foi utilizada a técnica da termografia, pois esta técnica é um método de inspeção não destrutivo em edifícios que permite a medição de temperaturas superficiais dos componentes de cada cobertura, tendo sempre em atenção os parâmetros que afetam a medição da radiação emitida pelas superfícies.

Como o objetivo principal desta dissertação é a análise do desempenho térmico das coberturas verdes e uma verificação dos benefícios que existem com a implementação das coberturas verdes foram feitos ensaios laboratoriais e diversas medições no exterior, tendo em conta a técnica de termografia.

Para quantificar o efeito benéfico que a cobertura verde tem foram feitas comparações com outros tipos de revestimentos que podem ser usados em coberturas, e concluiu-se que as coberturas verdes de alta densidade quando comparadas com outros tipos de revestimentos mostraram ter um desempenho térmico superior.

**Palavras-chave:** Coberturas Verdes, Coberturas Ajardinadas, Sustentabilidade, Termografia, Ilha de Calor, Poluição Atmosférica, Comportamento Térmico

## Abstract

Nowadays in the world of the building construction, one of the concerns is the comfort inside of the building, and it's in this way that are many studies that have been made to know more about new types of roof constructions, that are ecological and have a good energetic and acoustic performance. One of the solutions that exists are the green roofs, in Portugal this solution is not an usual construction but in many other countries, as Germany, this green roofs are common in very buildings because of the sustainability of the materials and the good thermal performance.

This type is important because of the reduction of urban heat island effect with the creation of more green spaces in the big cities, as this green roofs have more capacity of energy absorption.

As this construction technology is very interesting, is important to have legislation to have a good safe construction and policies and tax incentives that reward the green roofs construction.

To evaluate the thermal performance, it's going to be used the thermography because it's a nondestructive technique that allows to measure the surface temperatures of the green roof, having attention to the parameters that can influence the measurements.

As the objective of this dissertation is to know the thermic performance and the benefits of the green roofs, we had to do a lot of laboratory tests on different samples and external measurements on different claddings.

After the measurements are made several analyses on the results of the different samples to get the conclusion that green roofs in comparison with the other claddings have a better thermal performance.

**Keywords:** Green Roofs, Thermal Performance, Urban Heat Island Effect, Sustainability, Thermography

---

## Índice

1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e Motivação.....	1
1.2 Objetivos do Trabalho.....	3
1.3 Estrutura do Trabalho.....	4
2. Coberturas Verdes .....	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Evolução das Coberturas Verdes.....	5
2.3 Benefícios das Coberturas Verdes.....	6
2.4 Tipologias de Coberturas .....	9
2.4.1 Coberturas Extensivas.....	9
2.4.2 Coberturas Intensivas.....	10
2.4.3 Coberturas Semi-Extensivas .....	11
2.5 Tecnologia de Construção.....	11
2.5.1 Camada de Suporte estrutural .....	12
2.5.2 Isolamento Térmico .....	13
2.5.3 Membrana de Impermeabilização.....	13
Membranas Betuminosas.....	13
Membranas “Single-Ply” .....	14
Sistemas de Impermeabilização Líquida .....	15
2.5.4 Camada de Proteção Anti Raízes.....	15
2.5.5 Camada de Drenagem.....	16
2.5.6 Camada Filtrante.....	17
2.5.7 Substrato Vegetal .....	17
2.6 Sistemas Monocamada.....	18
2.7 Sistema de Cobertura Verde Estruturado em Aglomerado de Cortiça Expandida	20
2.8 Políticas de Incentivo e Regulamentação.....	22
2.9 Exemplos Internacionais e Nacionais .....	23
3. Termografia .....	26
3.1 Introdução.....	26
3.2 Conceitos Fundamentais .....	26
3.3 Parâmetros que Influenciam a Técnica da Termografia.....	28

---

3.4	Tipos de Análise em Termografia.....	29
3.4.1	Análise Qualitativa .....	30
3.4.2	Análise Quantitativa .....	31
3.5	Termografia Ativa e Passiva .....	32
3.5.1	Termografia Ativa.....	32
3.5.2	Termografia Passiva .....	33
3.6	Vantagens e Desvantagens da Termografia .....	33
4.	Metodologia.....	34
4.1	Introdução.....	34
4.2	Procedimento da Campanha Laboratorial .....	34
4.3	Descrição da Medição da Campanha Exterior .....	37
5.	Resultados.....	40
5.1	Resultados dos Ensaios Laboratoriais .....	40
5.1.1	Proвете “ <i>Brown Roof</i> ” .....	40
5.1.2	Proвете de Lajeta de Betão Leve .....	41
5.1.3	Proвете de Cortiça Média Densidade.....	43
5.1.4	Proвете de Cobertura Verde de Alta densidade .....	44
5.2	Medições em exterior de diferentes tipos de revestimento em coberturas.....	45
5.2.1	Cobertura Verde de Baixa Densidade.....	45
5.2.2	Cobertura Verde de Alta Densidade .....	46
5.2.3	<i>Brown Roof</i> .....	47
5.2.4	Revestimento em Cerâmica Vermelha.....	48
5.2.5	Cortiça.....	48
5.2.6	Revestimento Metálico de cor clara e cor escura.....	49
6.	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	53
	Referências bibliográficas .....	55

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Exemplos de Coberturas Verdes nos seus primórdios: a) Jardins da Babilónia; b) Torre del Guiniguís; c) SodRoofs .....	6
Figura 2.2 – Exemplo das diferenças de temperatura entre diferentes revestimentos na cobertura. ....	7
Figura 2.3 – Esquema de comparação entre uma cobertura tradicional e uma cobertura verde tendo em conta a energia refletida e a absorção de águas pluviais.....	8
Figura 2.4 - Exemplo de um aproveitamento numa cobertura transformado numa zona desportiva. ....	8
Figura 2.5 – Exemplo de uma Cobertura Extensiva.....	10
Figura 2.6 - Exemplo de uma cobertura Intensiva.....	10
Figura 2.7 - Exemplo de uma cobertura semi-extensiva .....	11
Figura 2.8 - Esquema de um sistema multicamada .....	12
Figura 2.9 - Exemplo de um tipo de Isolamento Térmico.....	13
Figura 2.10 - Membrana Betuminosa para aplicação a quente.....	14
Figura 2.11 – Exemplo de membrana Single- Ply.....	15
Figura 2.12 – Sistemas de Impermeabilização líquida.....	15
Figura 2.13 – Exemplos de camadas de Drenagem : a) Capacidade de drenagem em toda a área; b) Camada de drenagem com vasos comunicantes.....	16
Figura 2.14 – Exemplos de geotêxteis usados como camadas filtrantes .....	17
Figura 2.15 – Exemplos de misturas de solo que são utilizados como camada de substrato vegetal.....	18
Figura 2.16 - Sistema de Bandeja.....	19
Figura 2.17 - Sistema de Tapete .....	19
Figura 2.18 - Sistema em Saco .....	20
Figura 2.19 - Esquema de construção de um modelo Sistema de Cobertura Verde Estruturado em Aglomerado de Cortiça Expandida .....	21
Figura 2.20 – Exemplos de Coberturas Verdes em Território Nacional: a) Jardins/Parque de Estacionamento CCB; b) ETAR Alcântara; c) Jardim das Oliveiras .....	23
Figura 2.21 – Exemplos de Coberturas Verdes em Território Internacional: a) Aldeia Olímpica de Vancouver; b) Fábrica da FORD .....	24
Figura 2.21 – Exemplos de Coberturas Verdes em Território Internacional: a) Academia de Ciências, Califórnia; b) Escola de Arte, Singapura .....	25
Figura 3.1 – Espetro de Radiações Eletromagnéticas.....	27

Figura 3.2 – Equipamentos de Medição : a)Termómetro Pontual; b) Câmara Termográfica .....	28
Figura 3.3 - Exemplo do cálculo da temperatura refletida .....	29
Figura 3.4 - Imagens Térmicas que podem ser utilizadas para uma análise qualitativa: a) termograma com evidência da estrutura resistente; b) termograma com evidência de estrutura metálica.....	30
Figura 3.5 - Exemplo de imagens digital e térmica para possível aplicação da análise qualitativa .....	31
Figura 3.6 - Exemplo de imagens térmicas e possível representação com recurso a gráficos, da análise quantitativa .....	31
Figura 3.7 – Esquema Representativo de Termografia Ativa .....	32
Figura 3.8 – Esquema Representativo de Termografia Passiva .....	33
Figura 4.1 - Provetes ensaiados: a) provete de cortiça de média densidade; b) provete de cobertura verde; c) provete de <i>Brown Roof</i> ; d) provete da lajeta de betão leve .....	35
Figura 4.2 – Representação da imagem digital e da imagem térmica para demonstrar o “Field Of View” .....	36
Figura 4.3 – Esquema de metodologia que foi utilizada nos ensaios .....	37
Figura 4.4 - Gráficos representativos da evolução da radiação e da temperatura ao longo do dia: a) dia nublado; b) dia limpo e quente .....	38
Figura 4.5 - Imagens dos tipos de Revestimento que foram analisados: a) <i>Brown Roof</i> ; b) Cortiça Expandida de Média Densidade; c) Revestimento Metálico Claro; d) Revestimento Metálico Escura; e) Cobertura Verde de Baixa Densidade; f) Cobertura Verde de Alta Densidade .....	39
Figura 5.1 - Evolução da temperatura do provete de Brown Roof em estado seco.....	41
Figura 5.2 - Evolução da temperatura do provete de Brown Roof em estado húmido .....	41
Figura 5.3 - Evolução da temperatura, nos provetes da Lajeta de Betão em estado seco ....	42
Figura 5.4 - Evolução da temperatura, nos provetes da Lajeta de Betão Humedecido .....	42
Figura 5.5 - Evolução da temperatura, nos provetes de Cortiça Média Densidade, em estado seco .....	43
Figura 5.6 - Evolução da temperatura, nos provetes de Cortiça Média Densidade, em estado húmido.....	43
Figura 5.7 - Evolução da temperatura, nos provetes de Cobertura Verde de Alta Densidade, em estado seco .....	44
Figura 5.8- Evolução da temperatura, nos provetes de Cobertura Verde de Alta Densidade, em estado húmido.....	44
Figura 5.9 - Gráfico da evolução das medições exteriores numa cobertura verde de baixa densidade; a) dia nublado ; b) dia limpo e quente .....	45

---

Figura 5.10 - Gráfico da evolução das medições exteriores numa cobertura verde de alta densidade: a) dia nublado; b) dia limpo e quente .....	46
Figura 5.11 - Gráfico da evolução das medições exteriores, em °C, numa cobertura <i>Brown Roof</i> : a) dia nublado; b) dia limpo e quente .....	47
Figura 5.12 Gráfico da evolução das medições exteriores num revestimento em cerâmica vermelha: a) em dia nublado; b) dia limpo e quente .....	48
Figura 5.13 - Gráfico da evolução das medições exteriores numa cobertura de cortiça de média densidade: a) dia nublado; b) dia limpo e quente .....	49
Figura 6.1 – Gráficos das medições de uma cortiça de média densidade: a) no exterior; b) em laboratório.....	<b>Erro! Marcador não definido.</b>
Figura 6.2 – Gráficos das medições de uma cobertura verde de alta densidade: a) no exterior; b) laboratório.....	<b>Erro! Marcador não definido.</b>

## 1. Introdução

### 1.1 Enquadramento e Motivação

Ao longo dos anos tem-se verificado uma crescente procura no aumento do conforto interior dos edifícios, visto que é no interior dos mesmos que passamos grande parte do tempo e assim uma grande quantidade de energia consumida e de emissões de CO<sub>2</sub>, é utilizada no aquecimento e arrefecimento dos edifícios (Oberndorfer et al. 2007);(Gagliano, Detommaso, and Nocera 2017).

Atualmente, existem certificados energéticos que demonstram a eficiência de um edifício em termos de consumo energético, e uma classe superior em termos energéticos permite ter um maior conforto higrotérmico e uma maior durabilidade dos seus componentes (Orazio, Perna, and Giuseppe 2010).

As alterações climáticas são outra das grandes preocupações no mundo atual e tendo em conta esta informação, as grandes empresas e os governos das potências mundiais estão a tentar monitorizar a emissão dos gases poluentes para a atmosfera utilizando ferramentas como, por exemplo, a pegada ecológica que é bastante útil pois permite quantificar as emissões de gases bem como criar medidas para reduzir as mesmas.

De acordo com dados da organização Global Footprint Network, a pegada ecológica portuguesa em 2013, era de 3,9 hectares globais por pessoa (gha). Segundo a mesma fonte isto quer dizer que se todos os países tivessem a mesma pegada ecológica seriam necessárias 2,3 planetas Terra (Global Footprint Network n.d.).

Tendo em conta que a população nas grandes cidades tem tendência a aumentar, visto que é aí que existe mais emprego, melhores infraestruturas de saúde, bem-estar e educação, é importante conciliar as pessoas com o meio ambiente, ou seja, criar medidas que possibilitem um desenvolvimento e uma construção sustentável. Medidas que podem ser a criação de mais espaços verdes nos centros urbanos, a utilização de mais recursos renováveis na construção e a diminuição da queima de combustíveis fósseis (Oberndorfer et al. 2007).

É com a procura da construção sustentável que as coberturas verdes se têm vindo a tornar relevantes, pois são uma construção com maior conforto higrotérmico em comparação com as coberturas tradicionais, reduzem significativamente o efeito de ilha de calor e possibilitam a criação de novos habitats e conseqüente aumento da biodiversidade. Permite aumentar a vida útil das telas de impermeabilização é superior, já que neste tipo de soluções a cobertura verde diminui as amplitudes térmicas e constitui uma barreira de proteção mecânica

contra variados elementos como o vento, granizo ou as radiações UV (Neoturf n.d.). Esteticamente e arquitetonicamente também tem vantagens por ser apelativo ter uma cobertura verde em vez de uma cobertura tradicional plana em que a tonalidade é normalmente o cinzento (Ouldboukhitine and Belarbi 2015).

Em Portugal a utilização de coberturas verdes ainda não é muito expressiva devido á falta de incentivos económicos, mas na Europa principalmente em países como a Alemanha ou Dinamarca este tipo de coberturas é muito utilizado. A Alemanha é pioneira na certificação destes processos construtivos, dando a garantia de utilização das coberturas verdes (*FFL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau 2002*).

Como uma das vantagens apontada para este tipo de construção é a maior eficiência no conforto térmico é essencial utilizar técnicas que permitam avaliar os benefícios que as implementações destes sistemas têm no ambiente exterior comparativamente com outros tipos de revestimento em coberturas e para isso, pode-se recorrer a medições de temperaturas de vários tipos de revestimento nas coberturas.

A energia solar incidente sobre a atmosfera terrestre, pode ser absorvida, transmitida ou refletida, sendo que apenas nos interessa para o nosso estudo a energia refletida, assim para o estudo do desempenho térmico das coberturas verdes é proposta a técnica da termografia de infravermelhos, que tem a vantagem de ser uma técnica não destrutiva não precisa de destruição de elementos construtivos e que não necessita de contato físico.

Utilizando uma máquina termográfica que capta a radiação infravermelha dos objetos, podemos então determinar a temperatura superficial e assim reproduzir imagens térmicas, o que nos permite uma avaliação rápida do desempenho do objeto em estudo.

A termografia é utilizada em várias áreas de estudo como a medicina, arquitetura, meteorologia, mas é na área da engenharia que tem sido bastante utilizada pois permite uma deteção de anomalias em elementos construtivos bem como a sua eficiência energética (InfraTec n.d.)(Polidori et al. 2017).

Após a captura das imagens térmicas podemos proceder à sua análise de uma forma quantitativa, quando se pretende aferir as condições de eficácia e os benefícios que uma solução pode trazer em relação a outra ou de forma qualitativa, quando se pretende apenas fazer uma análise simples entre as diferenças de temperatura no elemento.

Apesar das suas vantagens, a termografia tem algumas limitações pois depende de vários fatores e quando fazemos as avaliações temos de ter o cuidado de tentar remover ou limitar os mesmos.

Um dos grandes problemas que existe atualmente nos grandes centros urbanos, é a existência de um fenómeno denominado ilha de calor, resultante em parte da energia refletida pelas coberturas tradicionais.

Uma das soluções para a mitigação deste fenómeno pode passar por implementar coberturas verdes nos grandes centros urbanos, mas para isso temos que saber se realmente as coberturas verdes quando implementadas podem reduzir significativamente o efeito da ilha de calor e é esta a motivação do presente trabalho o de validar e aferir se quando temos grandes áreas de coberturas verdes nos centros urbanos, estas permitem uma redução da energia refletida.

## 1.2 Objetivos do Trabalho

Na presente tese o objetivo principal é o de avaliar o comportamento térmico de vários tipos de revestimento de coberturas com recurso à técnica da termografia com principal incidência nas coberturas verdes.

Para que a análise nas coberturas verdes seja a mais correta procedeu-se primeiro a uma revisão bibliográfica sobre o tema, incidindo sobre os tipos que existem, as componentes que fazem parte de uma cobertura verde e as suas funções, cuidados que se devem ter aquando da implementação, alguns exemplos de políticas de incentivo e exemplos de coberturas verdes que existem no nosso país e internacionalmente.

Como na termografia existem vários fatores que podem influenciar os ensaios, é essencial ter um conhecimento mais abrangente dos mesmos, e para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a termografia onde é possível perceber como esta funciona, tudo o que é importante nesta técnica e o potencial que a termografia tem.

Sendo esta tese sobre os vários tipos de revestimento de coberturas, foram primeiramente discutidos e avaliados quais os tipos que seriam imprescindíveis de serem analisados e ainda algumas soluções alternativas. Após as análises dos vários tipos de revestimento, vão ser feitas comparações e breves considerações entre os resultados.

Este estudo contempla medições no exterior e em laboratório, e um dos objetivos passa por se fazer uma comparação entre ensaios em condições climatéricas diferentes ou seja num dia nublado e num dia limpo e quente, selecionando após um estudo e análise das várias medições, aqueles resultados que se verifiquem ser os mais corretos. Estas medições irão servir para se conseguir avaliar a resposta térmica dos diferentes tipos de revestimento.

Em condições laboratoriais foram realizados vários tipos de ensaios com diferentes durações e em diferentes estados, estado seco e em estado húmido e para este efeito procedeu-se em primeiro em lugar à elaboração de um procedimento laboratorial.

Os ensaios que serão apresentados e estudados são aqueles que verificam um grau de conformidade quando comparados com os restantes ensaios.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

A presente dissertação será constituída por 6 capítulos, a Introdução, a Revisão Bibliográfica sobre o tema das Coberturas Verdes e a Termografia, seguido dos Resultados e por fim as Conclusões e Trabalhos Futuros.

No Capítulo 1, é feito um pequeno enquadramento do tema e da motivação da dissertação, e são enunciados os objetivos que são propostos.

No Capítulo 2, procura-se fazer um pequeno enquadramento histórico da evolução das coberturas verdes, passando depois para uma definição de conceitos teóricos fundamentais sobre coberturas verdes. São enunciados também os benefícios que as coberturas verdes podem trazer com a sua implementação, bem como as políticas de incentivos existentes, a regulamentação que é utilizada para o dimensionamento e, por fim, exemplos de coberturas verdes.

No Capítulo 3, será apresentada a área da termografia, além de uma apresentação histórica desde os seus primórdios até aos dias atuais, são definidos alguns conceitos teóricos, essenciais para o estudo que é aqui proposto. São definidos também alguns parâmetros que temos de ter em conta para realizarmos corretamente as análises que vão ser efetuadas, e são abordados alguns tipos de análise que são usadas na área da engenharia civil.

No Capítulo 4, será apresentada a metodologia aplicada, tanto para os ensaios laboratoriais bem como para as medições efetuadas no exterior, são apresentados os provetes, que foram sujeitos aos ensaios laboratoriais e os tipos de revestimento que foram sujeitos as medições no exterior.

No Capítulo 5, serão discutidos os resultados dos ensaios laboratoriais e das medições exteriores. São posteriormente feitas as comparações entre os diferentes tipos de revestimentos de coberturas e são retiradas as primeiras conclusões sobre os resultados.

No Capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões que foram retiradas dos resultados e são identificados e propostos possíveis trabalhos futuros.

## 2. Coberturas Verdes

### 2.1 Introdução

Neste capítulo iremos começar por introduzir os conceitos do sistema de coberturas verdes com uma evolução histórica desde os seus primórdios até ao mundo atual, quais os benefícios que este tipo de solução tem, os tipos que existem e uma descrição pormenorizada de todos os seus constituintes, as políticas de incentivo que existem internacionalmente e irão ser também representados exemplos de coberturas verdes.

### 2.2 Evolução das Coberturas Verdes

O conceito de coberturas verdes teve o seu início, há milhares de anos e, apesar de não existirem muitas evidências físicas é possível pelo estudo da história verificar que estas coberturas tinham diferentes objetivos.

Nos tempos do Império Romano, na cidade de Génova, existiam jardins em forma de “escada”, mas a construção mais antiga de um jardim na cobertura são os jardins suspensos da Babilónia, na Antiga Síria, que data do século VI A.C., suportados por arcos de pedra e que atualmente são considerados uma das sete maravilhas do mundo como se pode ver na Figura 2.1 (Oberndorfer et al. 2007).

No período da Renascença, entre os anos de 1600 e 1800 os povos noruegueses começam a utilizar o solo na cobertura como isolamento, e usam as plantas e vegetação para prender o solo na cobertura. Outros exemplos: na época medieval em Itália, a Torre del Guinigi em Lucca, que tem um pequeno jardim de cobertura no seu topo; as ruínas de Pompeia ou atualmente; e ainda existem algumas casas na Noruega e na Islândia em que são utilizados “tapetes” de relva (*Sod Roofs*) na cobertura visto ser uma tradição nórdica (Vijayaraghavan 2016).

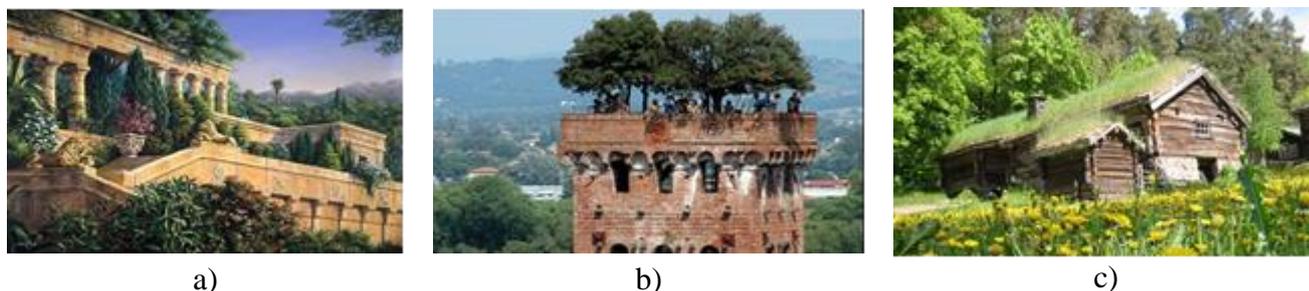


Figura 2.1 - Exemplos de Coberturas Verdes nos seus primórdios: a) Jardins da Babilónia; b) Torre del Guinigis; c) Sod Roofs

Com o início da era da construção em betão e a revolução industrial ocorre uma evolução no tipo de construções que até então eram realizadas, permitindo assim a criação de coberturas planas em zonas urbanas, e países como a Suíça ou a Alemanha começam a implantar esta nova tendência (Kaluvakolanu 2006).

São realizados imensos estudos de maneira a melhorar a qualidade destas coberturas entre os anos de 1950 e 1960 por Reinhard Bornkamm, e é a partir dos anos de 1960 com a aplicação de legislação, o apoio e interesse da comunidade científica e muitos subsídios de incentivo por parte dos líderes governamentais que ocorre o impulso necessário para a implementação de coberturas verdes no mercado da construção (Parizotto and Lamberts 2011).

A primeira documentação de legislação sobre coberturas verdes é a FLL(*German Green Roofs Guideline*), publicada em 1989, o que permitiu superar as grandes dificuldades técnicas que ainda existiam e a criação de empresas especializadas.

### 2.3 Benefícios das Coberturas Verdes

A utilização de coberturas verdes é vista atualmente como uma medida bastante de extrema importância pois o uso de vegetação nas coberturas permite reduzir a energia consumida nos sistemas de sistemas de ar condicionado e com a melhor qualidade de isolamento tem-se um melhor controlo do fluxo de calor.

A redução do efeito de ilha de calor é também muito importante, pois com a criação de espaços verdes diminuem-se as superfícies pavimentadas permitindo assim também uma redução das emissões de carbono.

A vida da cobertura é maior visto que a existência de vegetação diminui a amplitude térmica sobre a cobertura, como se pode ver na Figura 2.2 ,sendo também uma proteção contra elementos que podem danificar a cobertura (Nickerson, Roesch, and Rustagi 2017).

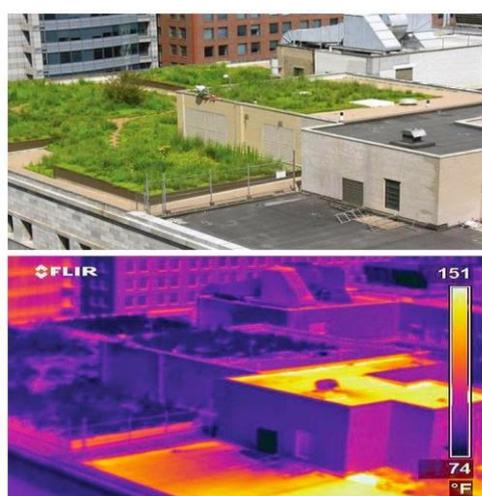


Figura 2.2 – Exemplo das diferenças de temperatura entre diferentes revestimentos na cobertura.

Com o aumento da população nos centros urbanos existe um provável aumento da construção de edifícios, e conseqüentemente ocorre destruição de habitats naturais o que pode ser compensado com a implementação de coberturas verdes.

A existência deste tipo de cobertura permite um aumento da atividade fotossintética e irá permitir um aumento da produção de oxigénio, uma maior reciclagem do dióxido de carbono e por fim uma diminuição do efeito de estufa (Neoturf n.d.).

Outro benefício que este tipo de solução pode ter é que a camada de vegetação pode funcionar como um filtro ambiental, captando partículas poluentes e pó que existam na atmosfera poluída. Além disso na camada de substrato é possível ocorrer a filtração de nitratos e outras partículas poluentes da água da chuva e que podem ser arrastadas para os rios e os mares.

Com a construção de coberturas verdes existe um aumento da retenção de água (Figura 2.3), e conseqüente atenuação dos picos de cheia ,isto quer dizer que se pode reduzir o desperdício das águas das chuvas , sendo que apenas o excesso irá sair através dos tubos de queda permitindo assim redução dos custos de construção (Gagliano, Detommaso, and Nocera 2017)(Ran and Tang 2017).

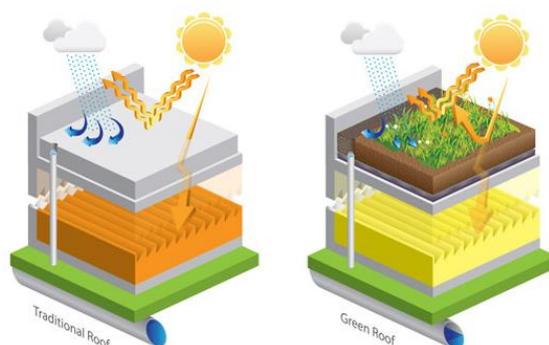


Figura 2.3 – Esquema de comparação entre uma cobertura tradicional e uma cobertura verde tendo em conta a energia refletida e a absorção de águas pluviais.

Em termos sociais tem um impacto visual muito mais apelativo a criação destes espaços verdes que permitem fazer uma redução do impacto negativo que ocorre com a massificação de estruturas construídas em ambiente urbano. O aumento do espaço útil com a construção de coberturas verdes, visto que muitas das vezes estas coberturas podem ser usadas como jardins de lazer dependendo da tipologia, como se pode ver neste exemplo (Figura 2.4) desta escola onde temos campos de ténis na cobertura (Bennett & Brosseau Roofing 2011).

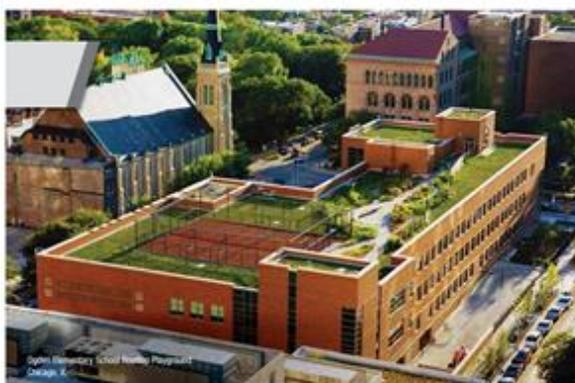


Figura 2.4 - Exemplo de um aproveitamento numa cobertura transformado numa zona desportiva.

## 2.4 Tipologias de Coberturas

Para cada edifício existe um tipo de cobertura que lhe será mais favorável. Segundo a *FLL(German Green Roofs Guideline)* existem 3 sistemas construtivos principais, as coberturas verdes intensivas, as extensivas e as semi-extensivas. As grandes diferenças são consoante a profundidade do substrato, a necessidade de rega e manutenção, o tipo de plantas utilizado, o custo e a sua capacidade de carga.

### 2.4.1 Coberturas Extensivas

No caso das coberturas extensivas, que podemos ver na Figura 2.5, estas são caracterizadas pela vegetação que é utilizada que pode ser o *Sedum sp.* ou outras plantas herbáceas que não necessitem de muita manutenção, rega ou que não tenham um grande acréscimo de peso na estrutura, tendo em conta que normalmente estas coberturas não são acessíveis para uso humano, e que a sua espessura máxima do substrato é de 0.02m (LandLab n.d.) (Peck and Callaghan 1999).

O uso de *Sedum sp.* é preferível pois trata-se de uma espécie bastante resistente à seca, com grande capacidade de regenerar face a condições extremas, e com um crescimento bastante rápido, sendo como uma proteção da membrana do telhado (FFL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau) 2002).

É assim fácil de tirar a conclusão de que as coberturas extensivas são de baixo peso, apropriadas para grandes áreas, não requerem grande manutenção nem sistema de irrigação e têm um custo de instalação baixo.

Sobre as desvantagens, este sistema construtivo tem uma maior limitação na escolha de plantas e devido ao facto das herbáceas escolhidas terem uma capacidade de absorção de água inferior poderá ter uma menor eficiência na retenção de águas pluviais.

A pouca acessibilidade para uso como jardim, e a altura do substrato pode ser pouco adequada para grandes picos de chuva (Peck and Callaghan 1999).



Figura 2.5 – Exemplo de uma Cobertura Extensiva ( Fonte: Zinco GreenRoof)

#### 2.4.2 Coberturas Intensivas

Neste tipo de coberturas a sua construção é feita como um jardim convencional, sendo as espécies colocadas individualmente, é um tipo de cobertura que necessita de uma maior manutenção e um maior cuidado com a rega.

A acessibilidade para lazer e convívio é uma das grandes vantagens, como podemos ver na figura 2.6.

A profundidade do substrato é maior, com valores mínimos a rondar os 0.15 m, mas podem chegar a quase 1m, estando com este valor a sobrecarregar a estrutura.

O custo neste caso será também maior pelo uso de espécies de maior porte e pelas necessidades de regas e manutenção serem maiores (*FFL-German Green Roofs Guideline*);(Peck and Callaghan 1999).



Figura 2.6 - Exemplo de uma cobertura Intensiva (Fonte: <http://www.greenroofs.com>)

### 2.4.3 Coberturas Semi-Extensivas

Como o nome indica e está representado na Figura 2.7, este tipo de coberturas é um misto entre os dois tipos já apresentados, podendo conter arbustos de pequenas dimensões que necessitem de um maior cuidado (rega e manutenção) ou serem utilizadas herbáceas, e assim sendo também a profundidade do substrato poderá variar entre os 0.15m e os 0.30m tendo como principal preocupação que este tipo de coberturas deve ter uma maior capacidade de retenção (LandLab n.d.)(ZinCo 2018).



Figura 2.7 - Exemplo de uma cobertura semi-extensiva (Fonte: <http://www.greenroofs.com>)

## 2.5 Tecnologia de Construção

A tecnologia de construção das coberturas verdes baseia-se principalmente em dois sistemas, o de multicamada ou o monocamada.

O sistema multicamada que vai ser apresentado nesta secção, é efetuado independentemente do tipo de cobertura a implementar (intensiva, extensiva ou semi-intensiva), sendo então constituído por várias camadas, cada uma dimensionada para desempenhar a sua função da melhor maneira possível e apesar de cada camada ter a sua função, é essencial que entre elas exista interação de modo a que funcionem como um só, pois se um dos componentes estiver danificado toda a estrutura pode ficar comprometida(Protection and Programs n.d.); (Korol and Shushunova 2016).

Já o sistema monocamada, que é apresentado na secção seguinte, pode ser efetuado de diferentes maneiras, tendo como sistema mais popular o sistema modular,

Assim os componentes indispensáveis na metodologia de construção são apresentados e descritos seguindo como exemplo a figura seguinte (ZinCo 2018).

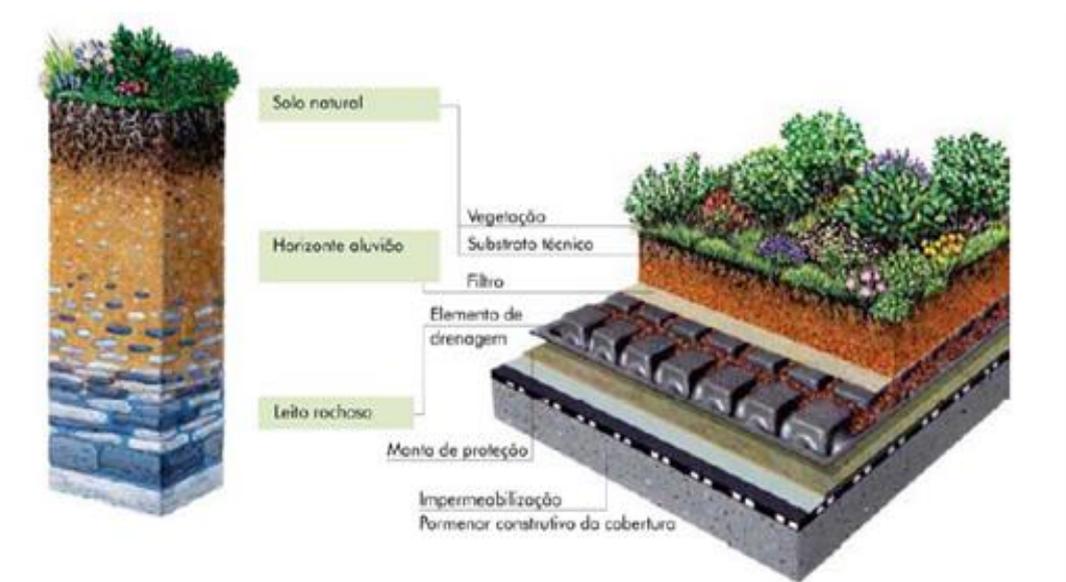


Figura 2.8 - Esquema de um sistema multicamada(Fonte: <http://www.zinco.pt>)

### 2.5.1 Camada de Suporte estrutural

Esta camada corresponde ao elemento laje do edifício, e assim sendo aquando do seu dimensionamento tem de seguir as normas e regulamentos previstos na legislação como os EC (Lopes 2016).

No dimensionamento temos de ter em conta todo o tipo de ações desde o peso próprio, ações variáveis e sobrecargas. Temos também de saber o tipo de cobertura escolhida, se intensiva ou extensiva. Esta escolha tem de ser prévia ao dimensionamento desta camada, visto que por exemplo numa cobertura intensiva existe uma maior sobrecarga sobre a laje e assim o dimensionamento tem de contemplar estas cargas adicionais.

Outro aspeto que se deve ter em conta é o de considerar o solo sempre com uma percentagem elevada de saturação pois se considerarmos o solo seco estaremos a considerar uma carga inferior à que vai existir (Silva 2012).

### 2.5.2 Isolamento Térmico

Tem como função melhorar o comportamento higrotérmico do edifício, e pode ser colocada após a membrana de impermeabilização ou antes desta dependendo do tipo de cobertura que se está a realizar(Figura 2.9).

Se for colocada sobre a membrana de impermeabilização deverá ser uma camada resistente à água, caso seja colocado sob a membrana de impermeabilização, a camada de isolamento não será necessariamente resistente à água pois tem a membrana de impermeabilização por cima, mas neste caso deverá ser utilizada uma barreira para vapor (Protection and Programs n.d.).



Figura 2.9 - Exemplo de um tipo de Isolamento Térmico (Fonte: <http://www.archiexpo.com>)

### 2.5.3 Membrana de Impermeabilização

A sua função é de proteger os edifícios de possíveis infiltrações e de possíveis penetrações das raízes das plantas. Sendo esta camada de grande importância, deverá ser realizada de forma cuidada e de maneira a garantir uma boa capacidade de estanquidade.

Existem vários tipos de impermeabilização possíveis no mercado que de seguida vão ser apresentadas (Technology 2008):

#### ***Membranas Betuminosas***

No caso das membranas betuminosas que podemos ver na Figura 2.10, estas devem ser aplicadas com a sobreposição de duas camadas de forma a aumentar a estanquidade ou em

colocar de forma alternada três a cinco camadas de telas de feltro entre o betume aplicado a quente.

Esta tecnologia tem a particularidade de que estas membranas necessitam de um produto anti-raízes, mas por outro lado como é um sistema aplicado a quente, não tem juntas e adapta-se às condições da cobertura. Um dos cuidados que se deve ter é de que zonas que não são cobertas por substrato têm de ser protegidas por gravilha ou argila expandida, para que não existam zonas mais expostas aos efeitos nocivos do ambiente (Al-obaidi et al. 2014).

As grandes vantagens deste tipo de membrana são a excelente resistência à perfuração e a excelente impermeabilização à água.



Figura 2.10 - Membrana Betuminosa para aplicação a quente  
(Fonte:<http://www.archiexpo.com>)

### ***Membranas “Single-Ply”***

Sistema de membrana “single-ply”, são fabricados em PVC ou em borracha e aplicados como um tapete na cobertura, sendo as suas juntas realizadas com recurso a técnicas de colagem a ar quente ou resinas (Al-obaidi et al. 2014), como pode ser ilustrado pela figura seguinte.



Figura 2.11 – Exemplo de membrana Single- Ply (Fonte: <http://www.archiexpo.com>)

### ***Sistemas de Impermeabilização Líquida***

Sistemas de impermeabilização líquida, como o nome já deixa antever são usados líquidos viscosos que funcionam como membrana de impermeabilização podendo ser aplicados como uma tinta ou projetado, como se pode ver na Figura (2.12).



Figura 2.12 – Sistemas de Impermeabilização líquida (Fonte: <http://www.archiexpo.com>)

### **2.5.4 Camada de Proteção Anti Raízes**

Colocada acima da membrana de impermeabilização tem como função controlar e proteger a membrana das possíveis penetrações que vêm das raízes das herbáceas.

Como referido anteriormente, algumas membranas de impermeabilização, já têm produtos anti raízes e assim esta camada tem vindo cada vez menos a ser utilizada (Lopes 2016).

### 2.5.5 Camada de Drenagem

É de grande importância que a vegetação tenha sempre a quantidade certa de água e assim esta camada tem a função de reter uma determinada quantidade de água ao mesmo tempo que permite o escoamento da água quando está em excesso. A eficiência está dependente da qualidade e da escolha dos materiais que são utilizados e também do ângulo de inclinação (recomendado entre 2 a 8%).

Atualmente o sistema de drenagem mais aplicado são placas nervuradas com vasos comunicantes, visto que permitem uma maior uniformização em toda a laje e a regulação da quantidade de água armazenada (Protection and Programs n.d.)(Lopes 2016).

Para uma maior segurança e melhor funcionamento, deverá haver capacidade de drenagem em toda a área conforme está representado na Figura 2.13a) assim como de transbordo de emergência, para que seja feita a drenagem quando a cobertura tenha água excessiva (Lopes 2016).

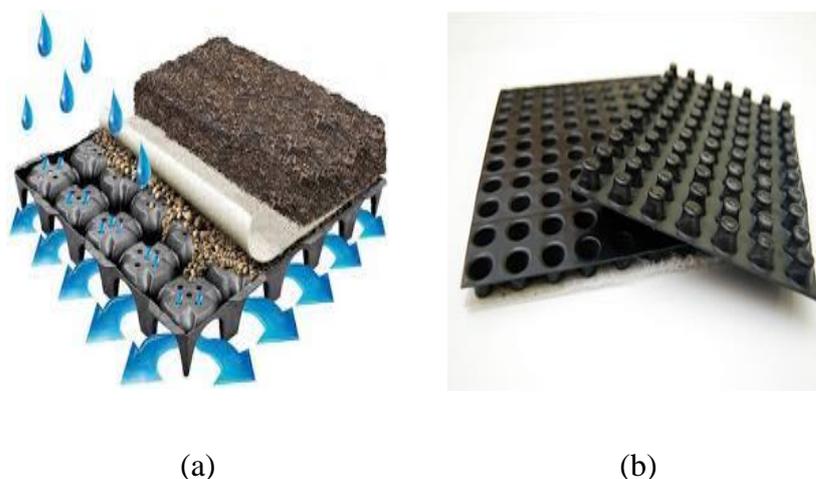


Figura 2.13 – Exemplos de camadas de Drenagem: a) Capacidade de drenagem em toda a área; b) Camada de drenagem com vasos comunicantes (Fonte: <http://www.vegetalid.us>)

### 2.5.6 Camada Filtrante

O substrato vegetal contém pequenas partículas que podem vir a preencher a camada de drenagem e, assim, a principal função da camada filtrante é de impedir a passagem de finos ou resíduos para que a drenagem seja feita da melhor forma possível e adequada (Silva 2012).

Assim, o material que é usado tem que ter elevada permeabilidade a água, boa resistência as ações mecânicas e permanecer inalterável face as agressões provocadas pelo contato com o substrato vegetal.

Os materiais mais usados são os geotêxteis ilustrados na Figura 2.14 (Silva 2012);(Archiexpo 2018).



Figura 2.14 – Exemplos de geotêxteis usados como camadas filtrantes (Fonte: <http://www.archiexpo.com>)

### 2.5.7 Substrato Vegetal

Esta camada é o meio de desenvolvimento da vegetação e assim sendo tem todas as condições químicas e biológicas para o crescimento das plantas. Existem vários tipos de substrato, com diferentes aplicações, que dependem do tipo de vegetação que vai ser usada, das características do edifício devido a capacidade de carga, do tamanho dos grãos, da resistência ao frio , à geada e ao vento e da permeabilidade e capacidade máxima de retenção de água (Prates 2012).

Os tipos existentes no mercado estão divididos em três categorias que seguidamente são apresentados segundo a regulamentação internacional *FLL(German Green Roofs Guideline)*.

As misturas de solos, que contêm solo superficial, subsolo e agregados minerais (Figura 2.15), as placas de substrato que podem ser feitas de espumas modificadas ou por fibras minerais e tapetes vegetais que podem conter misturas de agregados minerais ou orgânicos. (WatergripMedia 2018)



Figura 2.15 – Exemplos de misturas de solo que são utilizados como camada de substrato vegetal (Fonte: <http://www.watergripmedia.com>)

## 2.6 Sistemas Monocamada

Atualmente no mercado existem dentro dos sistemas monocamada várias tipologias diferentes, sendo o sistema modular o mais utilizado.

Este tipo de sistema contém apenas uma camada de suporte da vegetação cuja função é de filtrar e drenar.

Estes sistemas modulares podem ser aplicados de três diferentes maneiras, como um sistema de bandeja, de tapete ou sistema de saco.

No sistema de bandeja representado na Figura 2.16, tanto o substrato, as plantas bem como os sistemas drenantes e filtrantes encontram-se dentro de um módulo de dimensões variadas, em fase de crescimento. Uma das vantagens deste sistema é a de que é possível substituir de forma mais facilitada o substrato sem afetar o resto do sistema estrutural.



Figura 2.16 - Sistema de Bandeja (Fonte: <http://www.greenroofs.com>)

O sistema de tapete que se pode ver na Figura 2.17, é um sistema que é constituído por uma camada filtrante, substrato e vegetação, sendo bastante útil para coberturas longas e retas onde não existam zonas circulares.



Figura 2.17 - Sistema de Tapete (Fonte: <http://www.vegetalid.com>)

Na Figura 2.18 pode se ver o sistema em saco que é constituído por módulos flexíveis, que se adaptam consoante seja a forma das áreas onde pretendemos implementar este sistema e que permitam a drenagem do solo. O substrato permanece dentro do módulo e é essencialmente constituído por argila expandida e resíduos sólidos, que permitem que ocorra a

retenção parcial de água e dentro do substrato são inseridas sementes ou vegetação em fase de crescimento.



Figura 2.18 - Sistema em Saco (Fonte: <http://greenroofblocks.com>)

As vantagens que estes sistemas modulares têm em comparação com os sistemas multicamada é a de que necessitam de uma mão de obra menos especializada e a sua implementação é de duração mais curta, o que faz com que estes sistemas sejam mais económicos, mas por outro lado quando realizamos a implementação dos sistemas modulares existe uma proteção pouco eficaz da membrana de impermeabilização pois nunca protegem a área total da cobertura.

O desempenho em relação à gestão das águas pluviais é baixo, porque cada módulo absorve a água individualmente podendo provocar com maior facilidade alagamentos da cobertura.

## **2.7 Sistema de Cobertura Verde Estruturado em Aglomerado de Cortiça Expandida**

Este novo sistema, modelo representado na Figura 2.19, tem como grande objetivo a procura de alternativas aos sistemas tradicionais onde são utilizados materiais sintéticos para

suportar a camada vegetal e também garantir a drenagem da cobertura. A utilização deste sistema é uma mais valia em termos ambientais e em termos energéticos visto que a cortiça é um material reciclável e esta cortiça provém de resíduos da indústria.

Em comparação com a solução tradicional também existe outro ponto positivo que é a possibilidade de personalização geométrica da cortiça, através de tecnologias de corte, tendo assim uma maior variabilidade arquitetónica. Outro benefício que esta solução tem é a de que explora a capacidade autodrenante e de retenção autónoma de água do aglomerado de cortiça expandida (IteCons 2018a).



Figura 2.19 - Esquema de construção de um modelo Sistema de Cobertura Verde Estruturado em Aglomerado de Cortiça Expandida ( Fonte: <http://www.itecons.pt>)

A resistência térmica varia consoante os valores da espessura do aglomerado de cortiça expandida bem como com a espessura do substrato como podemos ver na tabela seguinte:

Tabela 2.1 - Resistência Térmica com a variação dependente da espessura do substrato e da espessura do aglomerado de cortiça expandida (Fonte: <http://www.itecons.pt>)

Espessura do aglomerado de cortiça expandida (em mm)	Espessura do substrato (em mm)			
	80	100	120	140
50	1.11	1.19	1.27	1.35
60	1.26	1.34	1.43	1.51
70	1.42	1.5	1.58	1.66
80	1.57	1.65	1.74	1.82
100	1.88	1.96	2.05	2.13
120	2.19	2.27	2.36	2.44
140	2.5	2.58	2.67	2.75

No comportamento higrotérmico, foram feitas simulações em camaras bioclimáticas, que mostram que após um período de precipitação, a solução apresentada garante um comportamento semelhante ao das condições normais, isto é, sem precipitação. A capacidade de drenagem vertical máxima desta solução é superior a 20 l/(min.m<sup>2</sup>) e a sua capacidade de retenção é superior aos 17 l/m<sup>2</sup>.

## 2.8 Políticas de Incentivo e Regulamentação

Com o aumento da implementação de coberturas verdes em algumas cidades, foi preciso criar alguns conjuntos de regras que possibilitem uma correta construção destes tipos de coberturas.

Temos um exemplo de uma cidade americana Portland, onde 70% das coberturas de todos os edifícios públicos têm que ser coberturas verdes, para reduzir os picos de cheia que ocorrem nesta cidade (Portland Bureau of Planning 2014).

Na Europa na cidade de Copenhaga, todas as coberturas que tenham uma inclinação inferior a 30° são obrigadas a ser coberturas verdes, de forma a criar um melhor ambiente na cidade.

As políticas de incentivo municipais e a regulamentação podem ser efetuadas de várias maneiras, desde incentivos financeiros diretos ou indiretos bem como por medidas regulamentares.

Um dos países que se encontra numa fase mais adiantada no que diz respeito a regulamentação de construção de coberturas verdes é a Alemanha, onde 43% das cidades têm incentivos para a construção das mesmas (Lopes 2016).

Um outro exemplo é o projeto EUA LIMPA, onde os proprietários de imóveis residenciais e comerciais recebem incentivos monetários para a instalação de coberturas verdes em pelo menos metade da cobertura. Outro incentivo que existe nos EUA é a de que os proprietários recebem uma redução do valor de imposto de 4.5 dólares por cada metro quadrado de cobertura verde (Raposo 2013).

Na cidade de Toronto existe regulamentação desde o ano 2009, em que empreendimentos com área mínima de 2000 m<sup>2</sup> têm que obrigatoriamente ter uma percentagem de cobertura verde e que são financiados 75 dólares por metro quadrado até um limite de 100 mil dólares.

Existem também cidades em que o município cobra mais taxas camarárias se o proprietário não tiver coberturas verdes ou superfícies verdes nos seus empreendimentos o que leva a que muitas vezes, estes optem por esta tecnologia.

## 2.9 Exemplos Internacionais e Nacionais

Em Portugal temos alguns exemplos de coberturas verdes, como o Jardim das Oliveiras no CCB, em que esta cobertura se encontra sobre o parque de estacionamento subterrâneo, como se pode ver na Figura 2.20a).

A ETAR de Alcântara, representada na Figura 2.20b, é outro caso de sucesso em que permite uma integração de uma cobertura verde de quase dois hectares, no meio das infraestruturas de betão que existem nos centros urbanos.

A cobertura verde da Praça de Lisboa faz parte do projeto que teve como principal objetivo o de remodelar esta praça criando espaços de restauração e de lazer.



Figura 2.20 – Exemplos de Coberturas Verdes em Território Nacional: a) Jardins/Parque de Estacionamento CCB; b) ETAR Alcântara; c) Jardim das Oliveiras  
(Fonte: <http://www.greenroofs.pt>)

Em relação a coberturas verdes internacionais temos por exemplo representado na Figura 2.21a), o caso da Aldeia Olímpica de Vancouver de 5 hectares que foi concluído em 2009, com o objetivo de ser um centro urbano residencial e comercial, após os jogos olímpicos, sendo ao mesmo tempo um complexo sustentável e inovador. As coberturas são tanto intensivas como extensivas, sendo o sistema estrutural usado o tradicional com uma inclinação dos telhados quase nula. (GreenRoofs 2018)

Na figura 2.21b) a fábrica da Ford de 242 hectares, que em 2000 passou por uma remodelação com o intuito de ter um edifício o mais sustentável possível, reduzindo o escoamento de águas pluviais. Esta cobertura é composta por Sedum e outras plantas

suculentas, contribuindo assim para uma maior absorção do dióxido de carbono bem como a diminuição dos gases efeito estufa.



Figura 2.21 – Exemplos de Coberturas Verdes em Território Internacional: a) Aldeia Olímpica de Vancouver; b) Fábrica da FORD (Fonte: <http://www.greenroofs.com>)

Na Figura 2.22a), pode se observar a cobertura verde da Academia de Ciências na Califórnia, que ocupa dez mil metros quadrados e a sua arquitetura é muito diferente das que estamos habituados a ver, visto que a cobertura neste edifício é ondulada. (GreenRoofs 2018).

Em Singapura pode-se encontrar a escola de Arte Figura 2.22b), onde são usadas coberturas verdes que com a combinação de um vidro de alto desempenho permite uma redução da energia usada bem como a manutenção da qualidade do ar interior.



a)



b)

Figura 2.22 – Exemplos de Coberturas Verdes em Território Internacional: a) Academia de Ciências, Califórnia; b) Escola de Arte, Singapura (Fonte: <http://www.greenroofs.com>)

## **3. Termografia**

### **3.1 Introdução**

O conceito de termografia, apenas é referido em 1884 por Boltzmann quando conseguiu demonstrar a lei empírica do corpo negro. Mais recentemente, na década de 60 começam a ser comercializados aparelhos de deteção de temperatura e no final do século XX surgem equipamentos que permitem medir simultaneamente temperaturas em diferentes pontos (Santos et al. 2014).

A termografia de infravermelhos é uma técnica de diagnóstico que tem evoluído ao longo dos anos e tem vindo a ser utilizado frequentemente, porque com a análise de imagens térmicas podemos determinar se existem irregularidades ou patologias (Kirimtat and Krejcar 2018).

Esta técnica permite converter a radiação térmica, que não é visível a olho nu, em imagens que são visíveis e que representam a distribuição térmica das superfícies do corpo, tendo como grande vantagem o facto de ser uma técnica não destrutiva.(Barreira et al. 2017)(Danielski and Fröling 2015).

### **3.2 Conceitos Fundamentais**

Para percebermos o que é a termografia de infravermelhos, temos de saber o que é a radiação infravermelha, e esta radiação é um tipo de energia eletromagnética que se desloca à velocidade da luz sob a forma de onda sinusoidal onde todos os objetos com temperaturas acima do zero absoluto a emitem e a absorvem. Situa-se no espectro eletromagnético (Figura 3.1) entre a luz visível e as ondas radio, podendo os seus comprimentos de onda variar entre os 0.75 e os 1000  $\mu\text{m}$ , conforme se ilustra na figura seguinte (McQuarrie; Donald 1998).

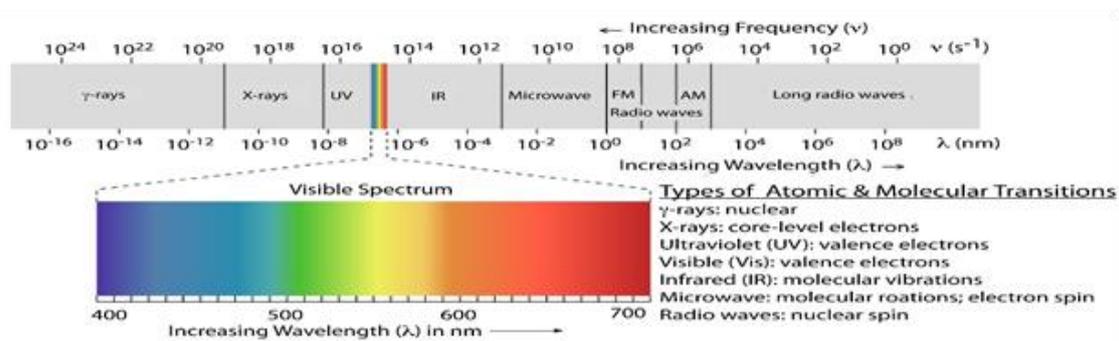


Figura 3.1 – Espectro de Radiações Eletromagnéticas (Fonte: Physical Chemistry)

A técnica de termografia por infravermelhos é uma técnica não destrutiva que capta e analisa a radiação infravermelha emitida pelos objetos. Esta radiação que é igual à quarta potência da temperatura absoluta e à emissividade de cada superfície, e que com recurso a uma máquina termográfica podemos, por aplicação da lei de Stefan-Boltzmann, convertê-la em imagens térmicas.

Quando usamos esta técnica temos que ter bastante atenção, e temos que verificar algumas condições para que esta seja aplicada com sucesso: uma delas é de que a superfície do objeto tem de se encontrar a uma temperatura diferente do meio em que se encontra, sendo que em casos que exista um equilíbrio térmico e a superfície do objeto seja homogênea e do mesmo material podem significar anomalias.

Para que seja feita uma correta análise, antes da captura dos termogramas, deverão ser determinados parâmetros como a temperatura ambiente, emissividade, humidade e a distância de medição visto que estes fatores podem influenciar os resultados.

Para procedermos às medições podem ser essencialmente utilizados três tipos de sistemas (Figura 3.2), as câmaras termográficas, os termómetros pontuais e os scanners de linha.

As câmaras permitem como foi referido anteriormente, captar e de seguida converter a radiação infravermelha emitida por uma superfície, numa imagem térmica onde são representadas as variações de temperatura na superfície em análise. Os termómetros apenas permitem saber a temperatura da superfície de um ponto e os scanners permitem através da captura da radiação infravermelha, obter um perfil de temperaturas representativo da linha definida na superfície do corpo em análise (FLIR 2018).



Figura 3.2 – Equipamentos de Medição: a) Termómetro Pontual; b) Câmara Termográfica (Fonte: FLIR.com)

### 3.3 Parâmetros que Influenciam a Técnica da Termografia

Existem alguns parâmetros que podem influenciar nas medições que são realizadas quando se usa a técnica da termografia, e por isso é preciso ter conhecimento sobre quais são e como estes podem ser determinados ou atenuados, e que de seguida são apresentados:

- A emissividade é uma propriedade superficial do objeto que demonstra a capacidade do material de emitir energia utilizando como comparação um corpo negro ideal que se encontra a mesma temperatura e com emissividade igual a um (Riachos 2014). Para se proceder à determinação da emissividade de um determinado objeto (ASTM E 1933-99), pode ser realizada uma medição paralela da temperatura da superfície do objeto em estudo com um de emissividade já conhecido (Rakrueangdet et al. 2016).
- A cor da superfície, é um elemento que influencia porque pode camuflar defeitos ou anomalias vistas que cores diferentes absorvem quantidades diferentes.
- Condições meteorológicas como a temperatura ambiente, chuva, vento e a luz solar, influenciam as imagens térmicas (Fernanda and Rebelo 2017).
- A distância entre a câmara e o objeto deve ser a correta para não ocorrerem diferenças térmicas e deve ser realizado uma calibração antes das capturas dos termogramas.

- Temperatura refletida, este parâmetro serve para compensar a radiação emitida pelo meio envolvente e pela construção construtiva. Para a sua determinação podemos utilizar a norma ASTM 1862 (1997), onde podemos utilizar uma folha de alumínio engelhada que pode ser considerado como um objeto perfeitamente emissor, ou seja de emissividade igual a 1, e com a captura do termograma (Figura 3.3) podemos determinar a temperatura refletida pelo calculo da média das áreas na área central da folha de alumínio (Riachos 2014).

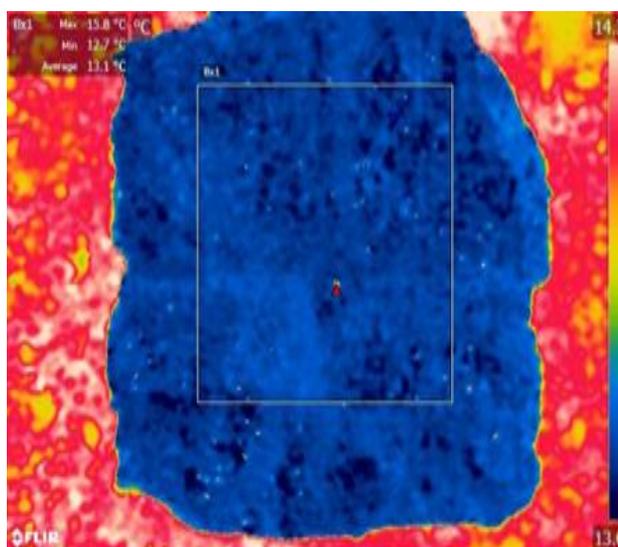


Figura 3.3 - Exemplo do cálculo da temperatura refletida

### 3.4 Tipos de Análise em Termografia

Quando fazemos a captura de termogramas apenas obtemos imagens térmicas com várias distribuições de temperaturas que podem ou não indicar algum defeito, é assim necessário realizar uma análise, que pode ser qualitativa ou quantitativa.

A grande diferença entre estes dois tipos de análise reside no fato de que na qualitativa a análise não é realizada com grande detalhe enquanto que na quantitativa sim, de seguida são apresentados os dois tipos de análise.

### 3.4.1 Análise Qualitativa

Neste tipo de análise apenas é realizado um registo de diferenças de temperaturas superficiais no objeto podendo assim mostrar se existe ou não uma anomalia. Normalmente para saber se existe uma anomalia, podem se comparar com outros termogramas de referência que estejam em condições semelhantes e verificar se existem variações de cor.

Através da análise do termograma é possível visualizar a estrutura resistente ou a existência de perfis metálicos na construção como se pode ver na figura (IteCons 2018b).

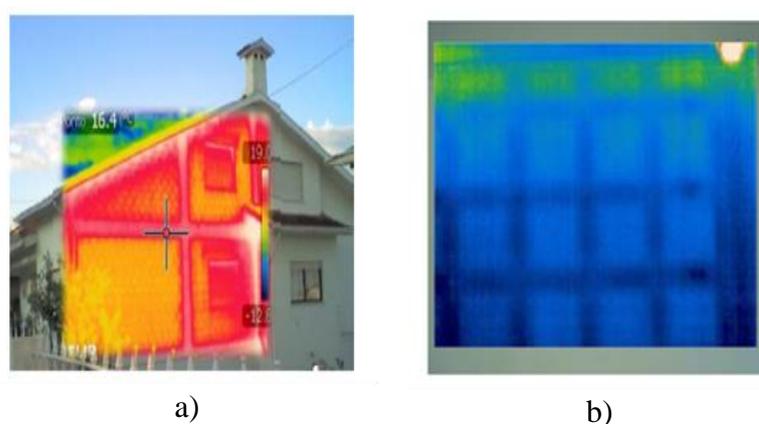


Figura 3.4 - Imagens Térmicas que podem ser utilizadas para uma análise qualitativa: a) termograma com evidência da estrutura resistente; b) termograma com evidência de estrutura metálica

Como outro exemplo temos estas duas imagens representadas na Figura 3.5, onde podemos detetar apenas devido a uma análise ao termograma a possível presença de humidade visto que existe uma grande variação de temperatura no cumhal saliente que vai conduzir a uma perda de energia para o exterior e a uma redução da temperatura superficial interior.

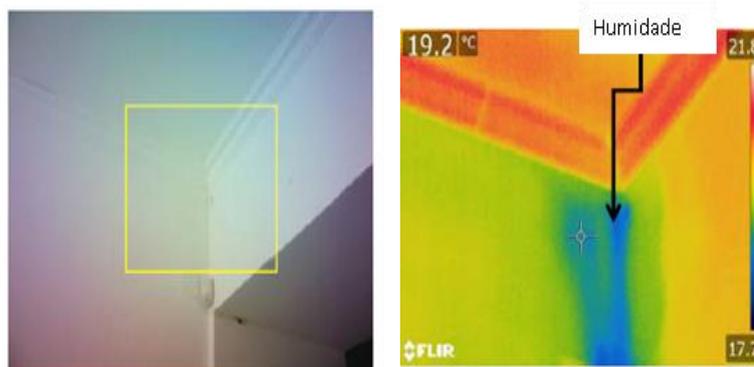


Figura 3.5 - Exemplo de imagens digital e térmica para possível aplicação da análise qualitativa

### 3.4.2 Análise Quantitativa

A análise quantitativa permite medir com maior exatidão as temperaturas, exigindo assim um maior detalhe e rigor, sendo que neste tipo de análise são apontados todos os dados necessários no momento da captura e posteriormente os termogramas são avaliados.

A partir dos termogramas e dos valores que foram obtidos aquando dos ensaios podemos então fazer por exemplo um histograma, representado na Figura 3.6, onde se podem ver as variações das temperaturas durante o ensaio.

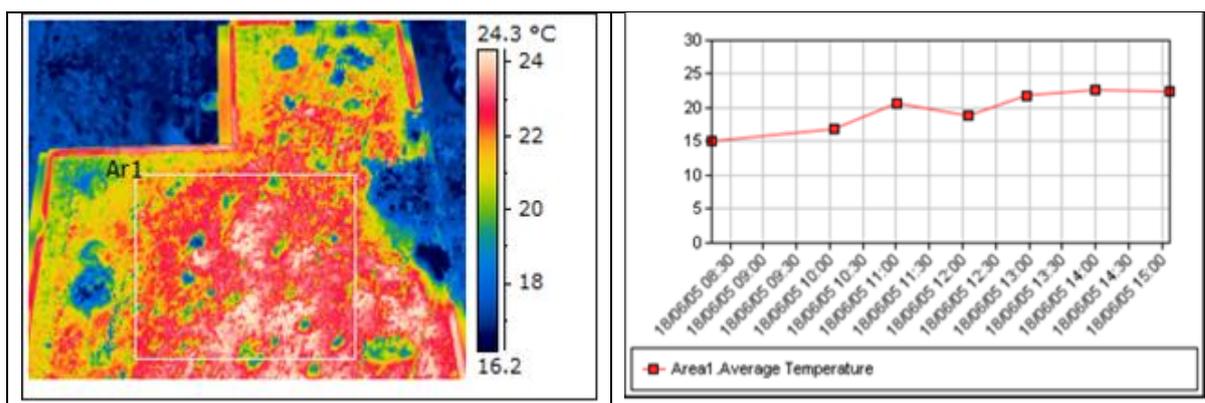


Figura 3.6 - Exemplo de imagens térmicas e possível representação com recurso a gráficos, da análise quantitativa

### 3.5 Termografia Ativa e Passiva

Existem dois tipos de termografia que normalmente são utilizados a ativa e a passiva, sendo que a diferença reside no fato de na ativa se utilizar uma fonte de calor para se obterem resultados enquanto que na passiva não existe uma fonte de aquecimento.

#### 3.5.1 Termografia Ativa

Quando utilizamos uma fonte de calor para aquecer a superfície em estudo estamos a usar uma técnica ativa, sendo que as capturas das imagens térmicas são realizadas após o instante que é acionado o aquecimento.

Neste tipo de análise, figura 3.7, o tipo de aquecimento pode assumir duas vertentes a de aquecimento por estimulação externa, quando a energia incide a superfície e de seguida se propaga até se mostrar o defeito ou a de estimulação interna que apenas se quer realçar os defeitos existentes, de seguida é apresentado um pequena esquema para uma melhor compreensão (Ekanayake, Isenberg, and Schmitt 2017)(Yao et al. 2018) (Sirikham, Zhao, and Mehnen 2017).

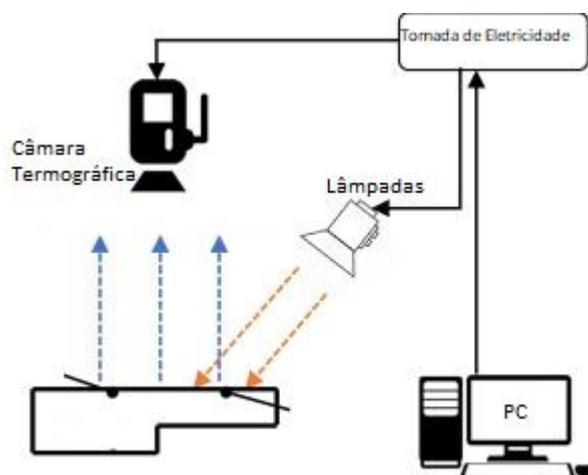


Figura 3.7 – Esquema Representativo de Termografia Ativa

### 3.5.2 Termografia Passiva

Este tipo de termografia (Figura 3.8) é usado quando o objeto que está a ser sujeito a análise tem radiação infravermelha suficiente para que não seja necessário o uso de qualquer fonte de calor. Esta técnica é mais usada para o estudo de pontes e edifícios de grande dimensão (Barreira, Almeida, and Moreira 2017).

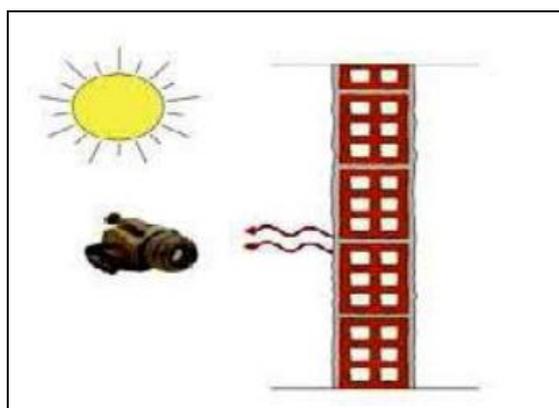


Figura 3.8 – Esquema Representativo de Termografia Passiva

### 3.6 Vantagens e Desvantagens da Termografia

A maior vantagem quando usamos a técnica de termografia reside no facto de ser uma ferramenta muito útil que permite realizar medições de temperaturas com distâncias que podem ir de milímetros a quilómetros sem precisar de haver contato com o objeto o que facilita em muito se o local em estudo ou o objeto em estudo se encontrar em sítios de difícil acesso. Outra vantagem é a de que estas camaras possibilitam avaliar a temperatura em diversos pontos ao mesmo tempo, sendo depois processadas e armazenadas num computador para avaliar e obter os resultados. O facto de também identificar anomalias com base nas diferenças de temperaturas e com um grau de precisão muito elevado.(Luís Filipe Rodrigues de Sousa 2010).

Em relação às desvantagens temos o facto de o equipamento ter um custo elevado, e quando fazemos algumas análises podem existir efeitos de pontes térmicas que precisam de alguém mais qualificado que possa registar e interpretar de forma correta. A emissividade sendo o parâmetro mais significativo quando realizamos estudos termográficos também pode causar problemas e por último o fato de poderem existir fontes de calor que não são conhecidas podem influenciar os resultados.

## 4. Metodologia

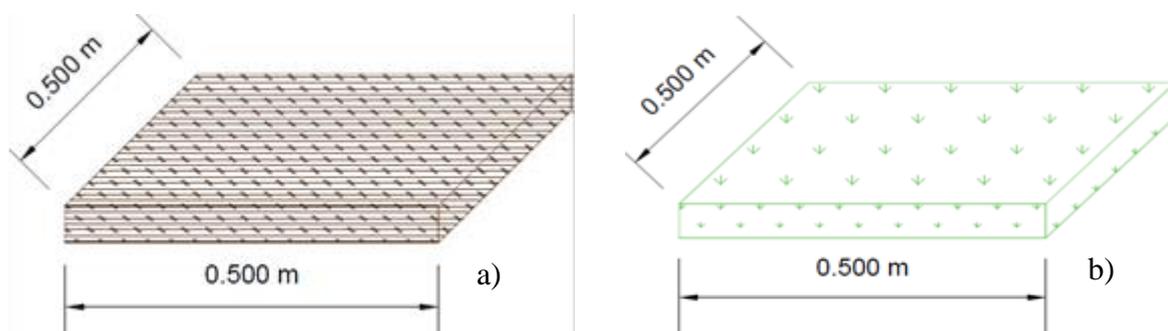
### 4.1 Introdução

Neste capítulo vão ser explicados como foram feitos os ensaios, que parâmetros tivemos que ter em conta, quais os programas utilizados e para finalizar vão ser apresentados ainda alguns resultados iniciais.

### 4.2 Procedimento da Campanha Laboratorial

Neste capítulo o objetivo principal é avaliar o desempenho térmico do revestimento de vários tipos de coberturas incidindo mais nas coberturas verdes. Para isso vamos utilizar a termografia ativa, em que a fonte de calor são quatro lâmpadas de aquecimento, com a potência de 125W cada uma, que se encontram centradas e a uma distância do provete de 0.70 m, estando a câmara ao mesmo nível das lâmpadas.

Iremos avaliar quatro provetes, representados pela Figura 4.1, um deles será de cortiça média densidade, outro um tabuleiro de cobertura verde de alta densidade, outro será composto por substrato e pequenos aglomerados (*Brown Roof*), um provete de betão leve, sendo que todas as suas dimensões são de 0.5x0.5 m<sup>2</sup>.



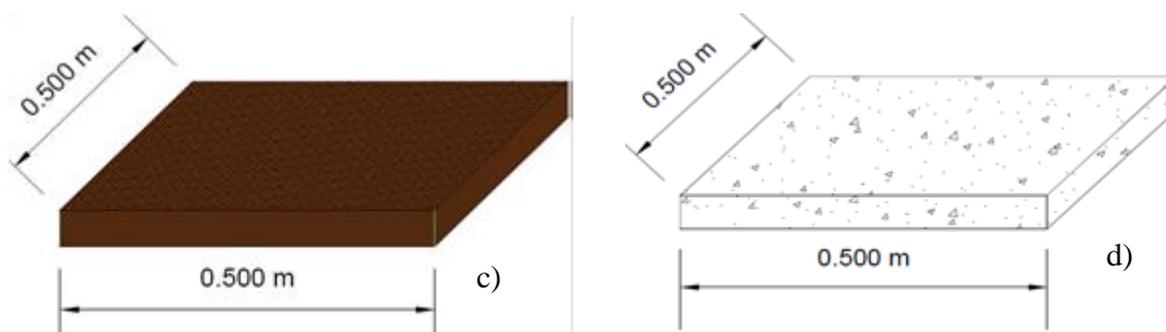


Figura 4.1 - Provetes ensaiados: a) provete de cortiça de média densidade; b) provete de cobertura verde; c) provete de *Brown Roof*; d) provete da lajeta de betão leve

Para os ensaios foram definidos alguns critérios que têm de ser respeitados antes de se começar a realizar o ensaio. Primeiro temos de determinar a emissividade do material, depois a temperatura refletida pelo método anteriormente explicado, e com um termohigrómetro podemos saber a humidade relativa e a temperatura ambiente. É de extrema importância que estes últimos parâmetros sejam sempre os mesmos para que os ensaios sejam realizados nas mesmas condições sem que estas exerçam influência sobre resultados das medições.

Outro critério que importa ter em conta é de que devemos manter o fluxo de calor constante, após as luzes desligarem-se, e para isso utilizamos placas de EPS para conseguir o efeito pretendido.

Quando realizamos a captura dos termogramas temos de perceber que a captura não será feita em todo o provete mas apenas numa parte central, que se denomina o “Field of View”, ou seja, o termograma apenas apresenta as temperaturas desta porção do provete, para melhor visualização são apresentadas estas imagens da Figura 4.2 onde se pode observar a diferença entre a área da imagem térmica e da digital.

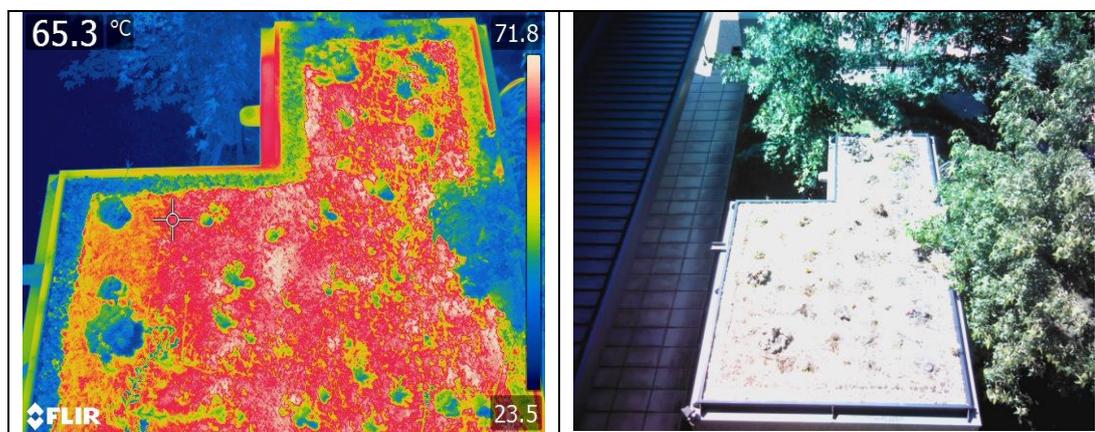


Figura 4.2 – Representação da imagem digital e da imagem térmica para demonstrar o “Field Of View”

Após termos estes parâmetros, podemos proceder ao início dos ensaios, e para isso com o programa FLIR TOOLS+ é possível acompanhar em direto as imagens que a câmara termográfica vai capturando. Após alguns testes foi estabelecido que os ensaios iriam ter a duração de 20 minutos porque para menos tempo a temperatura que é atingida não é substancial e após 20 minutos a temperatura já não tem um crescimento tão significativo parecendo que fica com uma variação quase nula. Outro critério que tivemos em conta foi o de realizar os ensaios em laboratório em 2 estados diferentes, em estado seco e em estado húmido para aferirmos quai as diferenças de comportamento que iriam existir.

Os ensaios de 20 minutos, consistem em 10 minutos de aquecimento e em 10 minutos de arrefecimento onde é feito um vídeo que após o ensaio terminar vai ser analisado com a verificação de quais são as temperaturas mais elevadas e as mais baixas.

Para termos uma análise mais detalhada, vamos dividir o vídeo inteiro em imagens de minuto a minuto, o que nos permite uma maior precisão no estudo das temperaturas dos provetes e realizar depois uma curva de temperaturas.

De seguida é apresentado um esquema na Figura 4.3, com todos os componentes utilizados para realização das medições laboratoriais

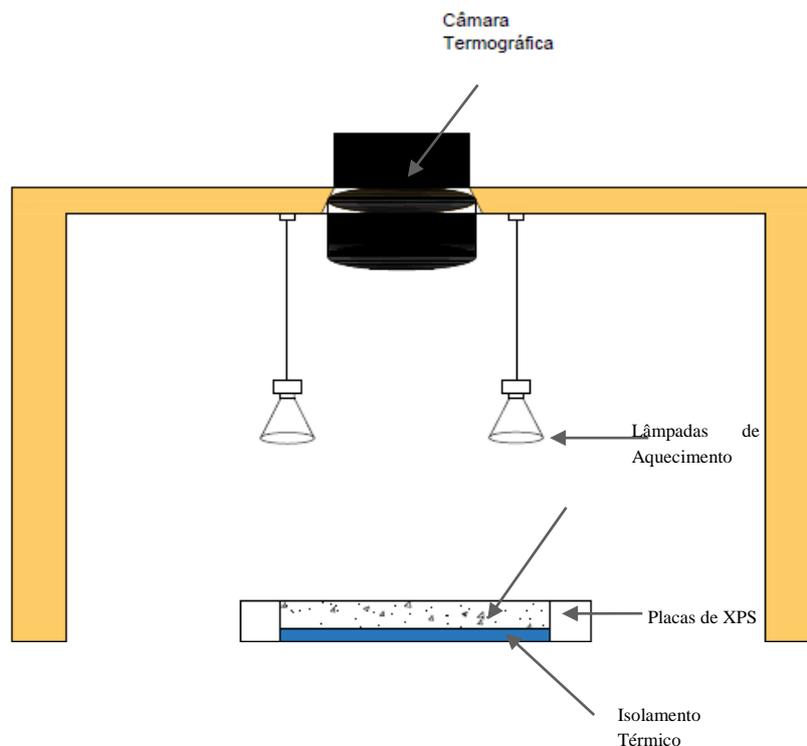


Figura 4.3 – Esquema de metodologia que foi utilizada nos ensaios

### 4.3 Descrição da Medição da Campanha Exterior

Nos ensaios no exterior, tem que se ter em conta os parâmetros meteorológicos como a velocidade do vento, a humidade relativa, a temperatura exterior bem como a radiação. Para a realização destes ensaios também foi preciso determinar a emissividade de cada material analisado, para fazer a posterior comparação com os ensaios laboratoriais. Para esta comparação temos um ensaio exterior em dia nublado que irá ser comparado com os ensaios laboratoriais em estado húmido e no caso dos ensaios exteriores em dia limpo e quente, a comparação será feita em relação aos ensaios laboratoriais em estado seco.

Nos gráficos representados na Figura 4.4 podemos ver a evolução da radiação e da temperatura ao longo do dia em que são realizados os ensaios, do lado esquerdo encontra-se representado o dia nublado enquanto que no lado direito se encontra o gráfico que representa o dia limpo e quente. Após uma breve análise dos gráficos é possível ver que existem algumas

diferenças como é expectável, tanto a temperatura como a radiação são muito mais elevadas no dia quente. No dia nublado, a radiação não tem um gráfico muito uniforme visto que nesse dia ocorreu precipitação e é possível observar que existem intervalos de tempo onde a radiação aumenta e diminui enquanto que no dia limpo e quente a partir das 7.50h existe um aumento quase gradual da radiação, que só começa a diminuir depois de atingido o pico do dia.



Figura 4.4 - Gráficos representativos da evolução da radiação e da temperatura ao longo do dia: a) dia nublado; b) dia limpo e quente

A campanha no exterior focou-se em diferentes tipos de revestimento para podermos depois comparar quais os que têm um melhor comportamento em termos térmicos. Os revestimentos que foram escolhidos e podem ser vistos na Figura 4.5, são bastante diferentes, temos uma cobertura *Brown Roof*, uma cobertura revestida por cortiça expandida de média densidade, duas coberturas revestidas de placas metálicas, em que uma é clara e outra é escura, e por fim outras duas coberturas verdes, uma de alta densidade e outra de baixa densidade.

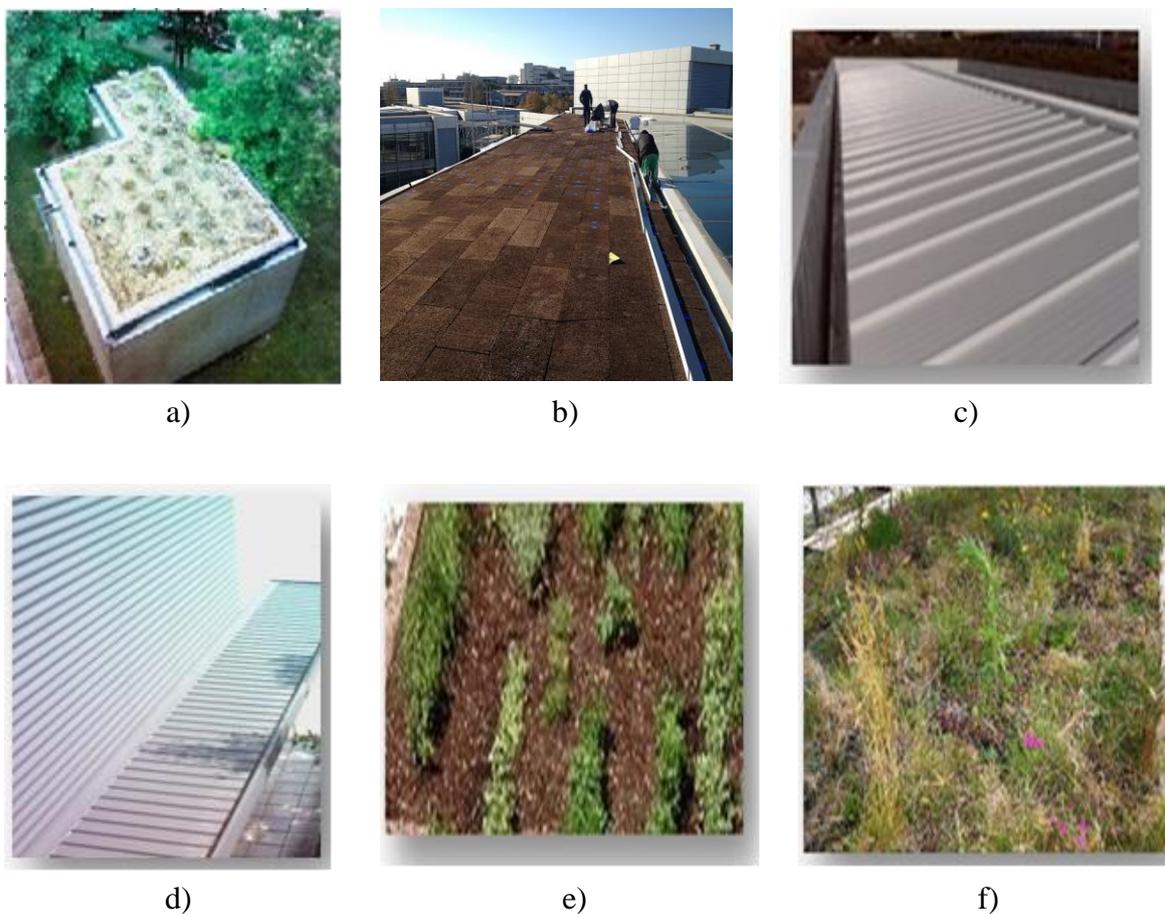


Figura 4.5 - Imagens dos tipos de Revestimento que foram analisados: a) *Brown Roof*; b) Cortiça Expandida de Média Densidade; c) Revestimento Metálico Claro; d) Revestimento Metálico Escura; e) Cobertura Verde de Baixa Densidade; f) Cobertura Verde de Alta Densidade

## 5. Resultados

Neste capítulo irão ser apresentados os resultados dos ensaios realizados em forma de gráficos para uma melhor compreensão dos valores das temperaturas.

### 5.1 Resultados dos Ensaios Laboratoriais

#### 5.1.1 Proвете “*Brown Roof*”

Aquando da realização dos ensaios dos provetes do “*Brown Roof*”, foram definidas várias zonas que continham as temperaturas mais elevadas e ao mesmo tempo pontos com temperaturas mais baixas. Após algumas medições verificou-se que existia uma zona onde as temperaturas eram mais uniformes e definiu-se então essa área para analisar o provete.

Neste primeiro gráfico, representado na Figura 5.1 é possível ver uma variação das temperaturas ao longo dos 20 minutos, tendo em conta que este provete se encontrava seco aquando do início do ensaio.

Podemos retirar os valores máximos na fase de aquecimento de aproximadamente 80°C e na fase de arrefecimento é possível ver que o valor não é o mesmo do início do ensaio existindo uma diferença de mais ou menos 9°C.

Após retirarmos este provete, ele é humedecido com 0.5l de água de modo uniforme e vai repousar durante uma hora, para que de seguida se proceda do mesmo modo, mas tendo em conta que o provete agora foi saturado. Posteriormente podemos observar os resultados que estão representados na Figura 5.2 e assim comparar as duas medições. A grande diferença que se pode tirar com a comparação destes 2 gráficos é a de que existe uma diminuição da temperatura máxima no pico da fase de aquecimento de quase 20°C e de que o valor no final dos ensaios é aproximadamente o mesmo do que o ensaio em seco.

No caso dos provetes de *Brown Roof* os resultados em termos térmicos são os que estávamos à espera, as diferenças de temperaturas são maiores porque os elementos constituintes do provete são menos uniformes, tendo terra, aglomerados, madeira e outros materiais que vão provocar maiores diferenças nas temperaturas medida.



Figura 5.1 - Evolução da temperatura em °C, do provete de *Brown Roof* em estado seco

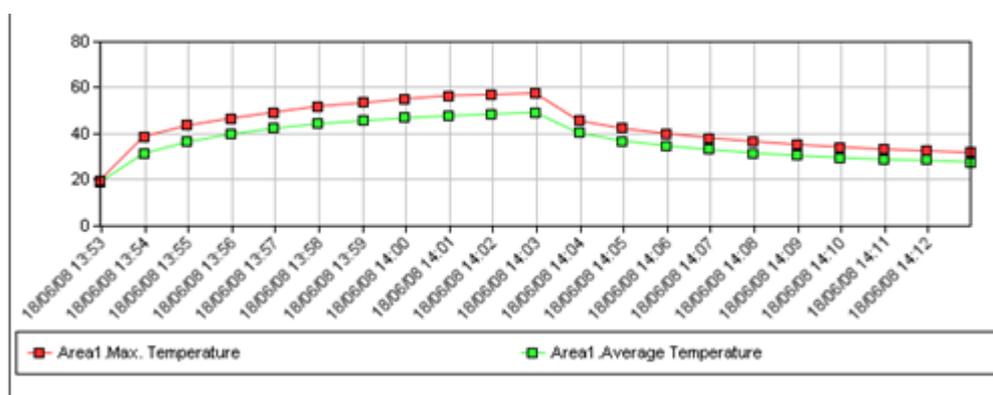


Figura 5.2 - Evolução da temperatura em °C, do provete de *Brown Roof* em estado húmido

### 5.1.2 Provete de Lajeta de Betão Leve

Nos provetes das lajetas, o mesmo procedimento é efetuado, em primeiro lugar realizamos o ensaio a seco, é definida a área que vai ser estudada e a partir desta área é possível efetuar o gráfico (Figura 5.3).

Para as medições em estado húmido, o provete após a medição em estado seco, foi humedecido e repousou durante uma hora até ser realizado a nova medição, tendo em conta que a área definida é a mesma do que para o seco para que os valores possam ser comparados, sendo assim extraído o gráfico da Figura 5.4.

Após análise dos gráficos pode-se chegar a conclusão de que não existe grande variação de valores entre os dois tipos de ensaios, pois o betão é um material com pouca resistência térmica.

Como acontece nos provetes de substrato, nestes a temperatura no início do ensaio é inferior relativamente a temperatura final, variando quase 10°C. Em relação às temperaturas máximas do provete são bastante mais baixas do que as do substrato o que pode ser explicado pela baixa condutividade e pelo fato deste provete ser mais uniforme e homogêneo do que os componentes do substrato.

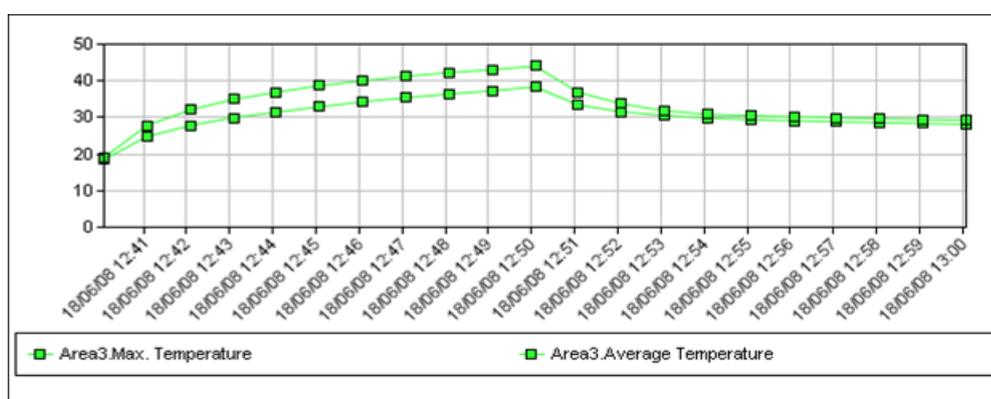


Figura 5.3 - Evolução da temperatura em °C, nos provetes da Lajeta de Betão em estado seco

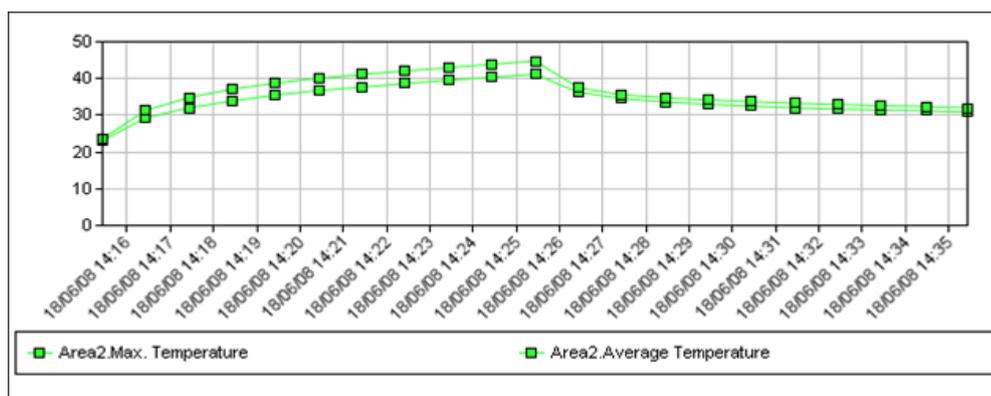


Figura 5.4 - Evolução da temperatura em °C, nos provetes da Lajeta de Betão Humedecido

### 5.1.3 Provete de Cortiça Média Densidade

Como se pode ver nestes dois ensaios, a variação que ocorre entre a medição em estado seco (Figura5.5) e a medição em estado húmido (Figura5.6) é verificada na temperatura máxima que irá ser de aproximadamente 100°C no primeiro e irá diminuir cerca de 40°C no ensaio húmido. Esta diminuição tão brusca deve-se ao facto da cortiça de média densidade ter uma elevada capacidade de absorção de água bem como permeabilidade ao vapor de água, tendo assim uma redução da temperatura no provete.

Em relação às temperaturas iniciais e finais elas são as mesmas tanto para o ensaio húmido como para o seco.

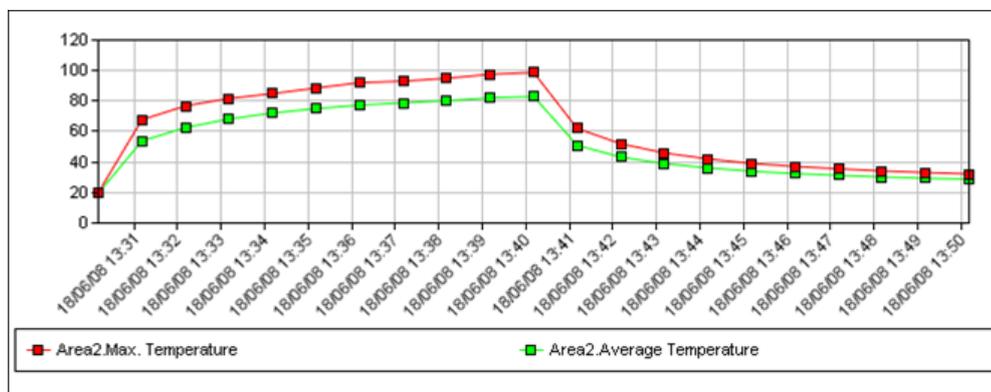


Gráfico 5.5 - Evolução da temperatura em °C, nos provetes de Cortiça Média Densidade, em estado seco

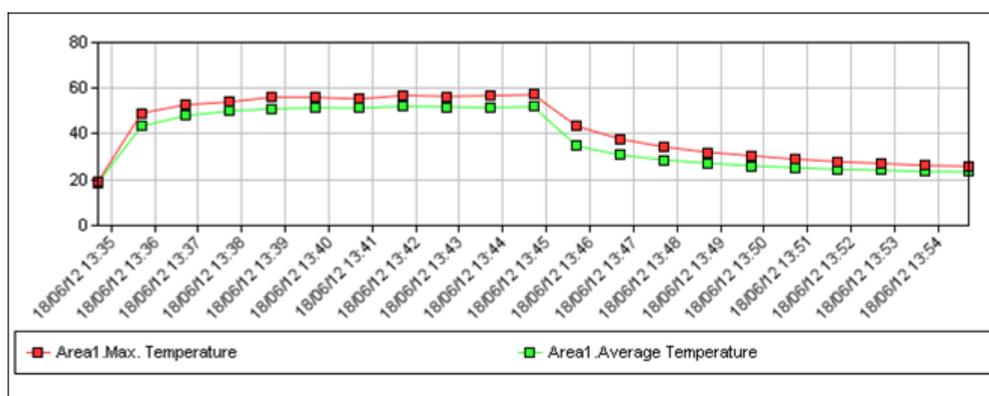


Gráfico 5.6 - Evolução da temperatura em °C, nos provetes de Cortiça Média Densidade, em estado húmido

### 5.1.4 Provete de Cobertura Verde de Alta densidade

No ensaio do provete da cobertura verde de alta densidade, pode-se verificar que não existem grandes diferenças no que diz respeito as variações de temperaturas, sendo também muito semelhante a temperatura máxima, tanto para o estado seco como para o estado húmido temos um pico de temperatura na ordem dos 60°C como se pode observar nas Figuras 5.7 e 5.8. Isto deve-se essencialmente pelo facto de se tratar de um provete com vegetação que absorve a água rapidamente e provocar uma diminuição da energia refletida quase nula na comparação entre os dois ensaios.

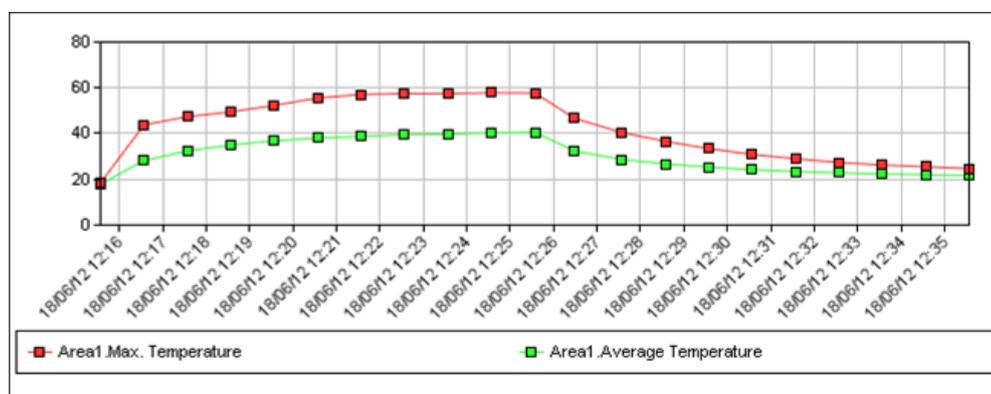


Gráfico 5.7 - Evolução da temperatura em °C, nos provetes de Cobertura Verde de Alta Densidade, em estado seco

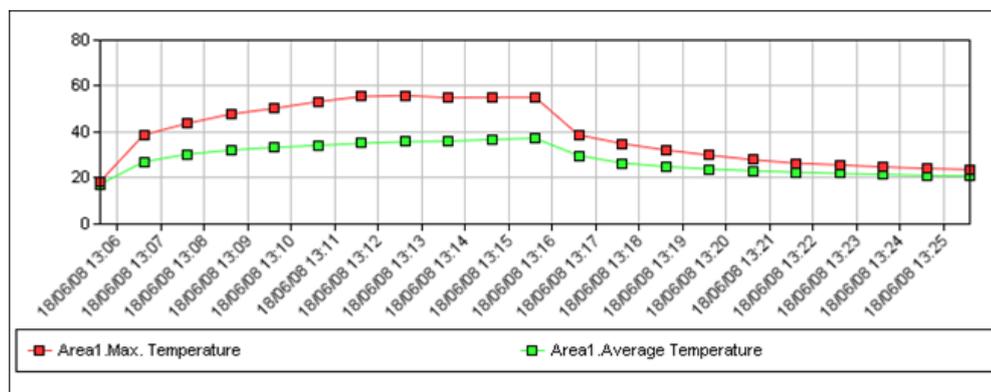


Gráfico 5.8- Evolução da temperatura em °C, nos provetes de Cobertura Verde de Alta Densidade, em estado húmido

## 5.2 Medições em exterior de diferentes tipos de revestimento em coberturas

A realização destes ensaios exteriores deve-se ao facto de assim conseguirmos ter um modo de compararmos e verificar se com condições exteriores e não em condições controladas, os materiais se comportam da mesma forma.

### 5.2.1 Cobertura Verde de Baixa Densidade

Nesta cobertura verde, a vegetação é rasteira e como se pode ver no dia nublado tem uma variação quase constante ao longo do dia, tendo um pico de calor aquando da temperatura máxima do dia. As variações decrescentes que se podem ver têm a ver com a ocorrência de precipitação entre as 8 horas e as 9 horas.

Na medição em dia limpo e quente (Figura 5.9b), a temperatura cresce de forma significativa nas primeiras horas do dia seguindo o aumento da temperatura ambiente tendo um pico por volta das 16 horas e a partir daí a temperatura começa a decrescer.

Daqui podemos retirar que em condições exteriores a cobertura verde responde da mesma forma do que em condições laboratoriais, aquando de um aquecimento ela atinge um pico e com a diminuição da temperatura ambiente a temperatura superficial da vegetação também irá decrescer. Em comparação do dia nublado com o ensaio húmido existem algumas diferenças, que podem ser explicadas pelo fato de no dia nublado a temperatura existir ser muito semelhante com a da superfície da cobertura o que impossibilita grandes variações enquanto que em condição laboratorial a temperatura irá aumentar substancialmente devido ao aquecimento realizado pelas lâmpadas de aquecimento.

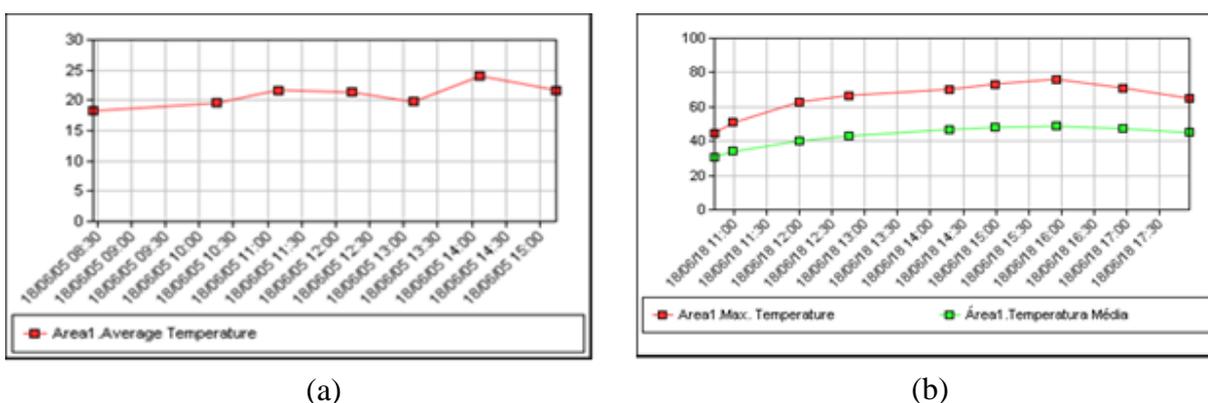


Figura 5.9 - Gráfico da evolução das temperatura das medições exteriores, em °C, numa cobertura verde de baixa densidade; a) dia nublado; b) dia limpo e quente

## 5.2.2 Cobertura Verde de Alta Densidade

Nesta cobertura verde, a vegetação é constituída por plantas de maior porte logo, e existem menos espaços sem vegetação, o que como será de esperar irá influenciar nos resultados. Como se pode ver no dia nublado a variação é semelhante à da cobertura de baixa densidade, mas verifica-se que nesta cobertura de alta densidade as temperaturas máximas são inferiores em 5°C o que pode ser explicado pela maior presença de vegetação.

No ensaio em dia limpo e quente, observando o gráfico da Figura 5.10b) pode-se ver que a temperatura cresce de forma gradual nas primeiras horas do dia acompanhando o aumento da temperatura ambiente, verificando-se um pico por volta das 16 horas e 30 minutos, e a partir daí a temperatura começa a decrescer. Em relação às duas medições em dia limpo e quente, pode-se verificar que como para o dia nublado existe uma diferença entre a cobertura verde de alta densidade e a cobertura de baixa densidade, neste caso as diferenças para as temperaturas máximas são muito mais acentuadas pois existe uma diferença de quase 20°C no pico do dia, mas na temperatura média a variação é mais ligeira tendo uma diferença de 8°C.

Quando comparamos as medições em distintas condições climatéricas, confirma-se que os parâmetros com influência são a temperatura ambiente, a radiação e a ocorrência de precipitação.

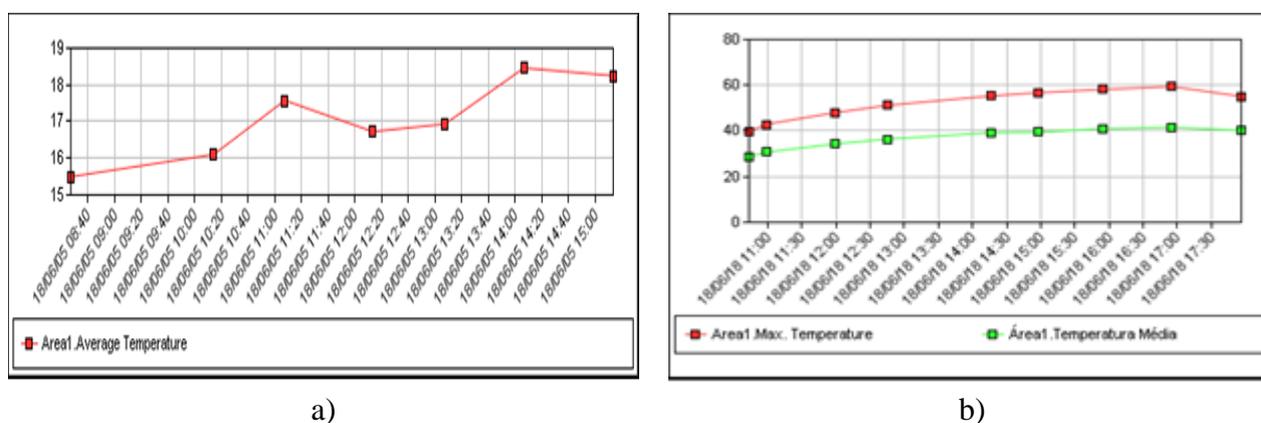


Figura 5.10 - Gráfico da evolução das temperaturas das medições exteriores, em °C, numa cobertura verde de alta densidade: a) dia nublado; b) dia limpo e quente

### 5.2.3 *Brown Roof*

Este tipo de coberturas é caracterizada por ausência de vegetação e não precisa de grande rega ou manutenção onde a grande diferença em comparação com as coberturas verdes é o tipo de substrato que é utilizado, que usualmente é o solo que existe no local ou por exemplo gravilha, e que tem espessuras variáveis.

No que diz respeito ao desempenho térmico podemos ver que as temperaturas são bastante diferentes entre os dois ensaios. Enquanto que no dia nublado (Figura 5.11a) vemos uma temperatura máxima na ordem dos 23°C coincidente com pico do gráfico da radiação. Por exemplo entre as 11 horas e as 12 horas existe uma diminuição da temperatura do provete, e quando comparamos com o gráfico da Figura 4.4 vemos que corresponde a uma zona de diminuição da radiação e da temperatura.

Em relação ao dia limpo e quente (Figura 5.11b) temos como pico da temperatura média aproximadamente 49°C, ou seja, em comparação com o dia nublado existe uma variação de quase 26°C, mais uma vez esta pico corresponde a uma hora em que temos uma temperatura exterior muito elevada.

Observa-se que a medição exterior no dia limpo e quente teve um pico de temperatura semelhante ao ensaio laboratorial em estado seco, já no dia nublado o mesmo acontece, ou seja o pico de temperatura é semelhante na medição laboratorial.

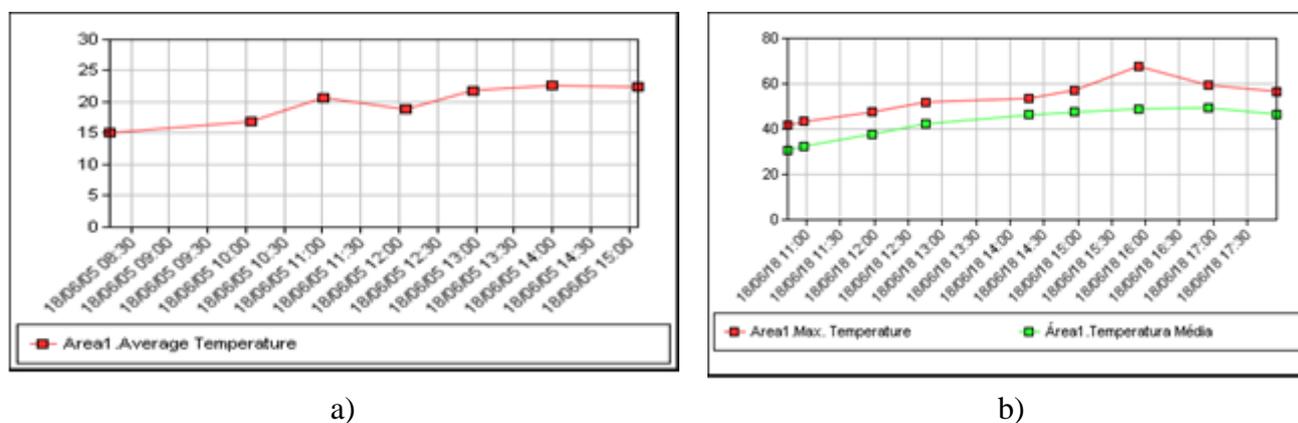


Figura 5.11 - Gráfico da evolução das temperaturas das medições exteriores, em °C, numa cobertura *Brown Roof*: a) dia nublado; b) dia limpo e quente

### 5.2.4 Revestimento em Cerâmica Vermelha

Este tipo de revestimento tem uma tonalidade semelhante a que encontramos usualmente nos telhados tradicionais, e assim podemos ter uma melhor ideia de qual é o comportamento em termos térmicos e comparar com as coberturas verdes.

Em relação ao dia nublado (Figura 5.12a) e analisando o gráfico, é possível ver que a variação é muito semelhante a que ocorre a uma cobertura verde de baixa densidade sendo ligeiramente mais elevada quando comparada a uma de alta densidade. A temperatura máxima no pico do dia é aproximadamente de 20°C, que é atingida por volta da mesma hora em que se atinge a máxima temperatura do dia.

Na Figura 5.12b) temos o gráfico em relação ao dia limpo e quente, em que a temperatura inicial é de aproximadamente 30°C, e vai aumentando gradualmente ao longo do dia atingindo o pico por volta das 16:30 com uma temperatura de 50°C.

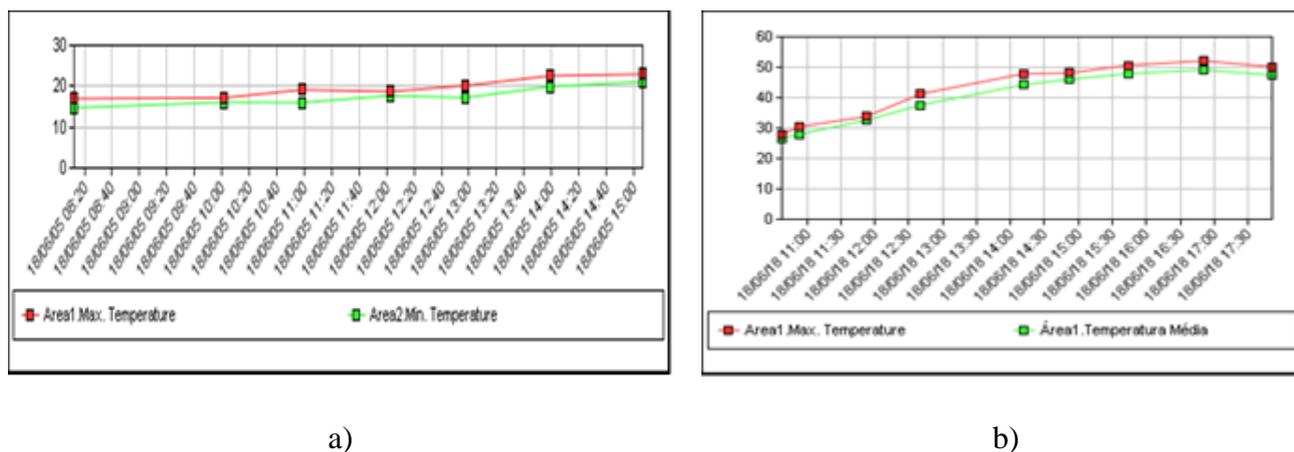


Figura 5.12 - Gráfico da evolução das temperaturas das medições exteriores, em °C, num revestimento em cerâmica vermelha: a) em dia nublado; b) dia limpo e quente

### 5.2.5 Cortiça

Nesta cobertura o revestimento é utilizado é uma cortiça de média densidade à vista. Como se pode ver na Figura 5.13a) que representa o dia nublado, temos uma variação quase nula ao longo do dia, atingindo um pico de calor aquando da temperatura máxima do dia. A variação decrescente que se verifica ocorre devido a precipitação que existiu na hora antecedente a captura realizada entre as 11 horas e as 12 horas.

No ensaio em dia limpo e quente (Figura 5.13b), a temperatura cresce de forma significativa nas primeiras horas do dia seguindo o aumento da temperatura ambiente tendo um pico por volta das 14 horas e a partir daí a temperatura começa a decrescer.

Como no anterior ensaio para as coberturas verdes, neste tipo de revestimento também podemos dizer que tanto em condições exteriores como laboratoriais o comportamento do material é o mesmo, já que a temperatura superficial vai depender em grande parte da temperatura ambiente existente e ao facto de existir ou não a ocorrência de precipitação.

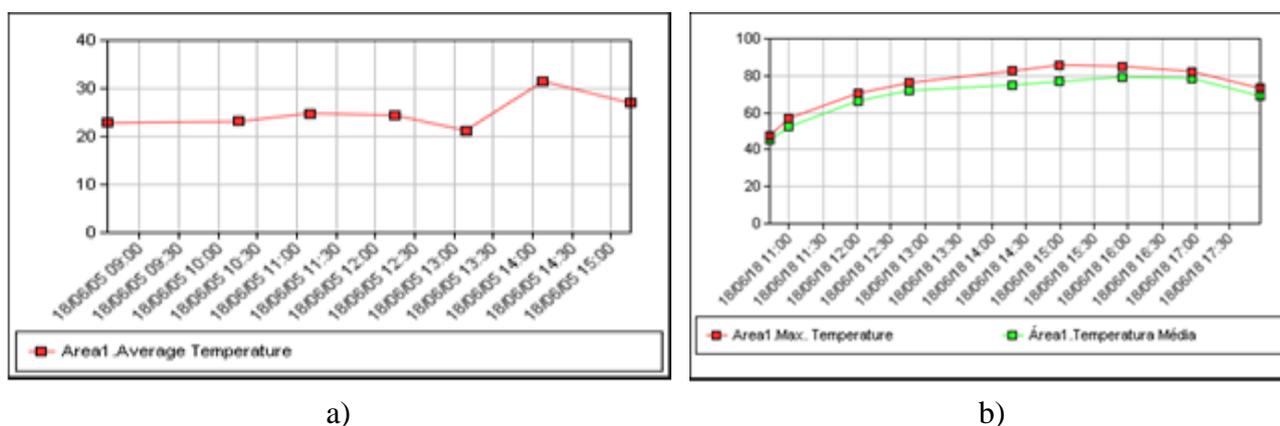


Figura 5.13 - Gráfico da evolução das temperaturas das medições exteriores, em °C, numa cobertura de cortiça de média densidade: a) dia nublado; b) dia limpo e quente

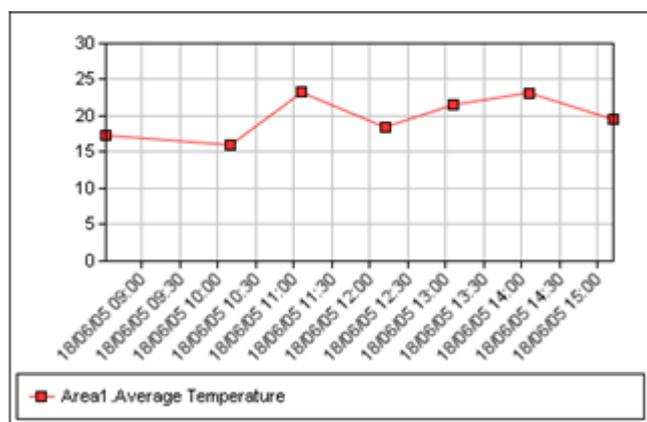
## 5.2.6 Revestimento Metálico de cor clara e cor escura

Nestes dois tipos de revestimento temos duas coberturas revestidas por placas metálicas de tonalidades diferentes, uma mais escura e outra mais clara, podendo assim ser possível analisar quais são os desempenhos térmicos das duas soluções.

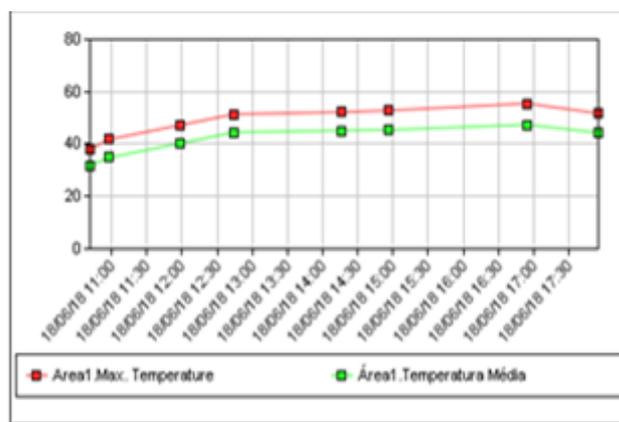
Em relação ao revestimento metálico claro na medição em dia nublado, analisando o gráfico da figura 5.14a) podemos ver que as temperaturas têm variações muito diferentes ao longo do dia como era de esperar visto que ocorreram diminuições de temperatura. O comportamento do revestimento metálico de cor escura Figura 5.15 é igual ao de cor clara, apenas a temperatura de pico é diferente nas medições visto que a emissividade de um mesmo

material, mas com diferentes tonalidades vai influenciar, podendo assim concluir como é expectável que a temperatura será maior no revestimento de cor escura.

Em relação às medições no dia limpo e quente(Figura 5.14b e Figura 5.15b) , o comportamento continua a ser muito semelhante nos dois revestimentos sendo a grande diferença outra vez a temperatura que se verifica no revestimento de cor escura muito superior ao de cor clara, na ordem dos 20°C

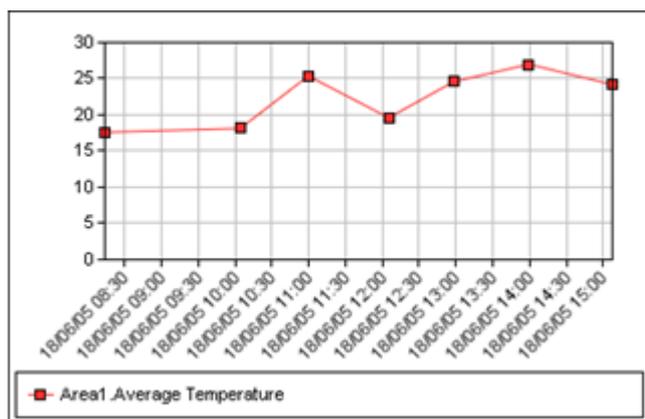


a)

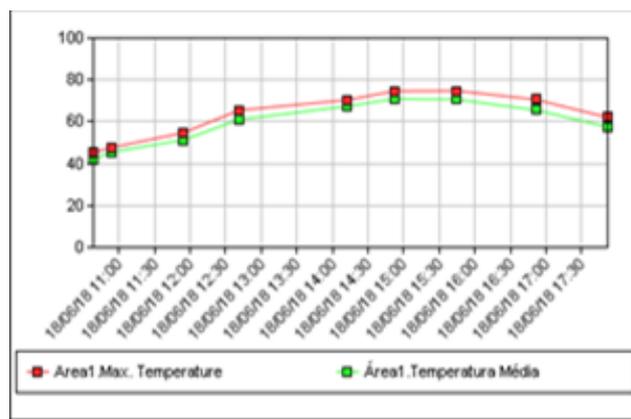


b)

Figura 5.14 - Gráfico da evolução das temperaturas das medições exteriores, em °C, numa cobertura revestida de material metálico de cor clara: a) dia nublado; b) dia limpo e quente



a)



b)

Figura 5.15 - Gráfico da evolução das temperaturas das medições exteriores, em °C, numa cobertura revestida de material metálico de cor clara: a) dia nublado; b) dia limpo e quente

De modo a sintetizar toda a informação que existe nos gráficos, em relação aos picos de temperatura que variam conforme os tipos de revestimentos analisados, procedeu-se à elaboração de dois quadros sínteses.

Tabela 5.1 - Quadro de resultados das medições em laboratório

Tipos de revestimento	Lajeta leve		Cobertura verde de alta densidade		<i>Brown Roof</i>		Cortiça de média densidade	
	Húmido	Seco	Húmido	Seco	Húmido	Seco	Húmido	Seco
Temperaturas de pico registadas(°C)	40°C	40°C	39°C	40°C	50°C	60°C	55°C	80°C

Tabela 5.2 - Quadro de resultados das medições no exterior

Tipos de Revestimento	Temperaturas de pico registadas(°C)	
	Nublado	Limpo e quente
Cobertura verde de baixa densidade	25°C	50°C
Cobertura verde de alta densidade	18.5°C	40°C
<i>Brown Roof</i>	23°C	50°C
Revestimento em cerâmica vermelha	20°C	50°C
Cortiça de média densidade	30°C	80°C
Revestimento metálico cor clara	23°C	48°C
Revestimento metálico cor escura	27°C	70°C

Como se pode observar pelos valores que se encontram na tabela 5.1 há uma diminuição das temperaturas registadas nas medições em estado húmido comparativamente às medições em estado seco. O caso onde se verifica uma maior variação é na cortiça de média densidade onde há uma diminuição de 25°C, já a lajeta e a cobertura verde de alta densidade têm uma variação quase nula.

Na tabela 5.2 encontram-se os valores das medições que foram efetuadas no exterior, em dias com condições climatéricas diferentes, e pode-se verificar que existem, como seria de esperar algumas diferenças. Temos uma cobertura verde de alta densidade com uma variação de quase 20°C quando comparamos as medições em dia nublado e em dia limpo e quente, que

se deve em grande parte as diferenças de temperatura ambiente que se verificaram nesse dia, para o dia nublado a temperatura ambiente máxima foi de 18°C já para o dia limpo e quente essa temperatura foi de aproximadamente 40°C.

A cortiça de média densidade como, se verificaram nas medições laboratoriais, também nas medições exteriores foram registados os valores de temperatura mais elevados com valores na ordem dos 80°C

## 6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Na presente dissertação procedeu-se primeiramente à caracterização das coberturas verdes, segundo os diferentes sistemas construtivos que existem. Para uma melhor caracterização foi feito um enquadramento do tema e dos conceitos teóricos, sendo apresentados exemplos.

Os benefícios que existem com a implementação das coberturas verdes foram também explorados, sendo feitas considerações sobre os mesmos.

A termografia foi a técnica proposta para avaliar os diferentes tipos de revestimento bem como para quantificar os benefícios das coberturas verdes.

O principal objetivo desta dissertação foi o de comprovar que existem bastantes benefícios quando são utilizadas coberturas verdes, incidindo especialmente no desempenho térmico das mesmas.

Com a realização dos ensaios laboratoriais e das medições exteriores e com uma posterior análise e comparação com os restantes revestimentos, foi possível observar algumas diferenças que existem consoante o tipo de revestimento que é analisado.

Por exemplo quando comparamos nas medições laboratoriais em estado seco, uma cortiça de média densidade com uma cobertura verde de alta densidade, podemos verificar que a temperatura na cortiça é muito superior, com valores perto dos 80°C enquanto que na cobertura verde a temperatura é de 60°C, tendo em conta que a temperatura inicial é igual para os dois e está na ordem dos 20°C. Dentro dos ensaios realizados em laboratório, a cortiça foi o revestimento que maior temperatura foi registada sendo a lajeta o que apresenta menor temperatura, por volta dos 40°C.

Após realizados os ensaios laboratoriais, procedemos às medições de campanha no exterior para que posteriormente fosse possível analisar e comparar estes dados com os laboratoriais para verificar se os resultados seriam semelhantes ou completamente diferentes. Se voltarmos ao exemplo da cortiça, podemos ver nos gráficos representados, que os valores das medições no exterior são muito semelhantes aos dos ensaios laboratoriais, com a temperatura de pico a ser aproximadamente 80°C.

Em relação à cobertura verde de alta densidade, os valores também são iguais no pico sendo aproximadamente de 40°C tanto no exterior bem como em condições laboratoriais, como podemos ver nos gráficos que estão representados de seguida.

Quando fazemos as comparações entre os diferentes tipos de revestimento, vemos que a melhor solução nestas medições é a cobertura verde de alta densidade com uma temperatura de pico significativamente inferior as dos outros revestimentos tanto no dia quente como no dia nublado, enquanto que na cortiça é o tipo de revestimento onde são registadas as temperaturas mais altas. Pode-se assim dizer que as coberturas verdes podem contribuir para um melhoramento do desempenho das coberturas dos edifícios, e para uma melhoria da qualidade do ambiente urbano reduzindo a energia refletida por parte da cobertura.

Este tema das coberturas verdes, é muito vasto e ainda são precisos serem realizados mais estudos, analisando em pormenor os benefícios. Em Portugal existe a necessidade de se criar legislação, regulamentação específica e também alguns incentivos para que exista um maior desenvolvimento deste tipo de soluções construtivas.

Para um melhor estudo dos benefícios que a implementação das coberturas verdes pode provocar no mundo atual, é necessário também verificar se com a redução do efeito da ilha de calor, também existe uma melhoria no conforto térmico interior e que resultados verificamos em termos de custos reduzidos com os sistemas de aquecimento e arrefecimento, podendo ter sido um complemento ao trabalho aqui realizado.

Outro estudo que pode ser realizado é o de criar procedimentos específicos para determinação da emissividade das plantas.

## Referências bibliográficas

- Al-obaidi, Karam M, Mazran Ismail, Abdul Malek, and Abdul Rahman. 2014. “Passive Cooling Techniques through Reflective and Radiative Roofs in Tropical Houses in Southeast Asia : A Literature Review.” *Frontiers of Architectural Research* 3(3): 283–97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2014.06.002>.
- Archiexpo. 2018. “GreenRoofs.” <http://www.archiexpo.com/architecture-design-manufacturer/green-roof-5201.html>.
- Barreira, Eva et al. 2017. “ScienceDirect ScienceDirect Assessing the Humidification Process of Lightweight Concrete Assessing the Humidification Process of Lightweight Concrete Specimens through Infrared Thermography Specimens through Infrared Thermography Assessing the Feasibility.” 00.
- Barreira, Eva, Ricardo M.S.F. Almeida, and Mariana Moreira. 2017. “An Infrared Thermography Passive Approach to Assess the Effect of Leakage Points in Buildings.” *Energy and Buildings* 140: 224–35. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817304206> (May 7, 2018).
- Bennett & Brosseau Roofing, Inc. 2011. “GreenRoofs.” <https://www.rooflitesoil.com/project/ogden-international-school-of-chicago/>.
- Danielski, Itai, and Morgan Fröling. 2015. “Diagnosis of Buildings’ Thermal Performance - a Quantitative Method Using Thermography under Non-Steady State Heat Flow.” *Energy Procedia* 83: 320–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.186>.
- Ekanayake, Sarah, Christopher Isenberg, and Robert H Schmitt. 2017. “Method for Quantitative 3D Evaluation of Defects in CFRP Using Active Lock-in Thermography.” 66: 254–58.
- Fernanda, Daniela, and Fontenete Rebelo. 2017. “AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS RESULTADOS DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS APLICADA AO ESTUDO DA HUMIDADE.” Universidade do Porto.
- FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau). 2002. *Guidelines for the Planning , Execution and Upkeep of Green-Roof Sites*. [http://www.greenroofsouth.co.uk/FLL Guidelines.pdf](http://www.greenroofsouth.co.uk/FLL%20Guidelines.pdf).
- FLIR. 2018. “Flir Products.” <https://www.flir.com/browse/professional-tools/thermography-cameras/>.
- Gagliano, Antonio, Maurizio Detommaso, and Francesco Nocera. 2017. “Assessment of the Green Roofs Thermal Dynamic Behavior for Increasing the Building Energy Efficiencies.”
- Global Footprint Network. “Ecological Footprint.” <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>.

- GreenRoofs. 2018. “Projects of GreenRoofs.” <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=523>.
- InfraTec. “Thermography Applications.” <https://www.infratec.eu/thermography/industries-applications/>.
- IteCons. 2018a. “Green Urban Living.” <https://www.itecons.uc.pt/projectos/greenurbanliving/index.php?module=sec&id=546&f=1>.
- . 2018b. *Intro Termografia*.
- Kaluvakolanu, Preethi. 2006. *Greenroof Technology (Apresentação)*.
- Kirimtat, Ayca, and Ondrej Krejcar. 2018. “A Review of Infrared Thermography for the Investigation of Building Envelopes: Advances and Prospects.” *Energy and Buildings*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778818312398> (August 10, 2018).
- Korol, Elena, and Natalia Shushunova. 2016. “Benefits of a Modular Green Roof Technology.” *Procedia Engineering* 161: 1820–26. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816329022> (August 10, 2018).
- LandLab. “Descrição Do Sistema Para Cobertura Verde Estrutura Do Sistema Dados Técnicos.” 40: 4102303. <http://www.landlab.pt/pt/produto/sistema-tapete-sedum>.
- Lopes, Filipe Almeida. 2016. “Avaliação Do Desempenho Técnico de Coberturas Verdes.” Instituto Superior Técnico.
- Luís Filipe Rodrigues de Sousa. 2010. “Aplicação de Termografia No Estudo Do Isolamento Térmico de Edifícios.” Universidade de Aveiro.
- McQuarrie; Donald. 1998. *Physical Chemistry*. 2nd ed. Un. ed. 2008 United States Of America: University Science Books. [https://chem.libretexts.org/Textbook\\_Maps/Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\\_Textbook\\_Maps/Map%3A\\_Physical\\_Chemistry\\_\(McQuarrie\\_and\\_Simon\)/13%3A\\_Molecular\\_Spectroscopy/13-01.\\_Different\\_Regions\\_of\\_the\\_Electromagnetic\\_Spectrum\\_Are\\_Used\\_to\\_Investigate\\_Differ](https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Map%3A_Physical_Chemistry_(McQuarrie_and_Simon)/13%3A_Molecular_Spectroscopy/13-01._Different_Regions_of_the_Electromagnetic_Spectrum_Are_Used_to_Investigate_Differ).
- Neoturf. “Coberturas Verdes.” <http://www.neoturf.pt/pt/servico/coberturas-verdes>.
- Nickerson, Nora, Rachel Roesch, and Rea Rustagi. 2017. *Green Roof Development in Urban Areas*. New Jersey.
- Oberndorfer, Erica et al. 2007. “Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services.” *BioScience* 57(10): 823–33. <http://academic.oup.com/bioscience/article/57/10/823/232363/Green-Roofs-as-Urban-Ecosystems-Ecological>.
- Orazio, M D, C Di Perna, and E Di Giuseppe. 2010. “The Effects of Roof Covering on the Thermal Performance of Highly Insulated Roofs in Mediterranean Climates.” *Energy & Buildings* 42(10): 1619–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.04.004>.
- Ould boukhitine, Salah-Eddine, and Rafik Belarbi. 2015. “Experimental Characterization of Green Roof Components.” *Energy Procedia* 78: 1183–88. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215018317> (August 10, 2018).

- Parizotto, S., and R. Lamberts. 2011. "Investigation of Green Roof Thermal Performance in Temperate Climate: A Case Study of an Experimental Building in Florianópolis City, Southern Brazil." *Energy and Buildings* 43(7): 1712–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.014>.
- Peck, Steven, and Chris Callaghan. 1999. *GreenBacks from Green Roofs*. <http://www.conservationtechnology.com/greenroof.html>.
- Polidori, G. et al. 2017. "Medical Infrared Thermography Assistance in the Surgical Treatment of Axillary Hidradenitis Suppurativa: A Case Report." *International Journal of Surgery Case Reports* 34: 56–59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijscr.2017.03.015>.
- Portland Bureau of Planning. 2014. *Portland Green Building Policy*. <http://programs.dsireusa.org/system/program/detail/254>.
- Prates, Joana Filipa Martins. 2012. "Desempenho de Coberturas Verdes Em Zonas Urbanas." Universidade de Aveiro.
- Protection, U S Environmental, and Atmospheric Programs. "Reducing Urban Heat Islands : Compendium of Strategies Green Roofs."
- Rakrueangdet, K, N Nunak, T Suesut, and E Sritham. 2016. "Emissivity Measurements of Reflective Materials Using Infrared Thermography." I(1): 16–19.
- Ran, Jiandong, and Mingfang Tang. 2017. "Effect of Green Roofs Combined with Ventilation on Indoor Cooling and Energy Consumption." *Energy Procedia* 141: 260–66. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217355121> (August 10, 2018).
- Raposo, Fausto Miguel Ferreira. 2013. "Manual de Boa Práticas de Coberturas Verdes." : 136.
- Riachos, J. R. R. 2014. "Avaliação Da Determinação Experimental Do Coeficiente de Transmissão Térmica Com Recurso à Termografia." : 63.
- Santos, Formoso Nobre et al. 2014. "Uso Da Termografia Para Caracterizar Qualitativamente Fachadas de Edifícios."
- Silva, João Ricardo Rodrigues da. 2012. "Coberturas e Fachadas Verdes." Instituto Superior Técnico. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395145006800/Dissertação.pdf>.
- Sirikham, Adisorn, Yifan Zhao, and Jörn Mehnen. 2017. "Determination of Thermal Wave Reflection Coefficient to Better Estimate Defect Depth Using Pulsed Thermography." *Infrared Physics & Technology* 86: 1–10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350449517303766> (August 23, 2018).
- Technology, Conservation. 2008. *Green Roof Handbook*. Conservation Technology.
- Vijayaraghavan, K. 2016. "Green Roofs: A Critical Review on the Role of Components, Benefits, Limitations and Trends." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57: 740–52. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115015026> (August 28, 2018).
- WatergripMedia. 2018. "GreenRoofs." <http://watergripmedia.com/applications/green-roofs/>.
- Yao, Yuan et al. 2018. "Active Thermography Testing and Data Analysis for the State of Conservation of Panel Paintings." *International Journal of Thermal Sciences* 126: 143–51. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1290072917314837> (August 10, 2018).

- ZinCo. 2018. “Coberturas Ecológicas.”  
[http://www.zinco.pt/sistemas/semi\\_extensivas/index.php](http://www.zinco.pt/sistemas/semi_extensivas/index.php).  
———. “Coberturas Verdes.” [http://www.zinco.pt/beneficios/beneficios\\_ecologicos.php](http://www.zinco.pt/beneficios/beneficios_ecologicos.php).