



Instituto Politécnico  
de Castelo Branco  
Escola Superior  
de Tecnologia

# **A envolvente exterior de edifícios através da termografia**

## **Caracterização construtiva e identificação de patologias**

Cátia Sofia Garcia Marcelino

Nº aluno:62011281

### **Orientadores**

Prof. Doutora Ana Teresa Vaz Ferreira

Prof. Doutor Pedro Miguel Vaz Ferreira

Dissertação apresentado à Escola Superior de Tecnologias do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Construção Sustentável, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Ana Teresa Vaz Ferreira, do Instituto Politécnico de Castelo Branco e do Professor Doutor Pedro Miguel Vaz Ferreira, do University College London.

**Março 2020**



## Composição do júri

Presidente do júri

Doutora, Cristina Calmeiro dos Santos

Professor Adjunto da UTC de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Vogais

Doutor Ricardo Almeida

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil do Instituto Politécnico de Viseu

Doutor Luís Filipe de Carvalho Jorge

Professor Adjunto da UTC de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Doutora, Ana Teresa Vaz Ferreira

Professor Adjunto da UTC de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco (Orientador)



## Agradecimentos

O desenvolvimento deste trabalho só foi possível com a contribuição primeiramente da minha orientadora, Professora Doutora Ana Teresa Vaz Ferreira, á qual agradeço pela disponibilidade, conselhos, sugestões e pelo estímulo nas horas de maior desânimo.

Agradeço também ao meu coorientador, Professor Doutor Pedro Miguel Vaz Ferreira pelo apoio dado com as orientações sobre o funcionamento dos programas informáticos utilizados e pela gentileza em ceder algum equipamento.

Deixo ainda uma palavra de apreço muito especial à minha colega de mestrado, Cláudia Lourenço pela companhia e ajuda na fase dos ensaios e ao meu namorado Rúben e irmã pelo incentivo e confiança necessária para realizar o meu objetivo.

Quero finalmente salientar o meu maior bem-haja às pessoas que me possibilitaram eu ter chegado a esta fase do meu percurso académico, a minha mãe e o meu pai.

Um sincero obrigada a todos os que contribuíram de uma maneira ou de outra para a realização deste trabalho.

“ Dificuldades preparam pessoas comuns  
para destinos extraordinários.”

*C.S.Lewis*



## Resumo

No quadro da reabilitação de edifícios, a fase de inspeção e diagnóstico é fundamental para que se identifiquem os materiais e técnicas aplicadas, procurando-se assim estratégias de intervenção compatíveis com o edificado existente. A utilização de câmaras de infravermelhos para esta fase de diagnóstico pode contribuir para um levantamento menos intrusivo, sem a necessidade de utilização de ensaios que danifiquem os elementos construtivos. Estes equipamentos permitem a obtenção de imagens a partir da quantidade de radiação emitida por um corpo, sendo esta traduzida em temperaturas.

A termografia é uma técnica ainda pouco utilizada no nosso país, nomeadamente na área da construção civil, assim pretende-se compreender o alcance e as possibilidades de utilização desta técnica. O objetivo deste trabalho consiste em reconhecer os princípios que condicionam o resultado da análise e a identificação de materiais e técnicas construtivas.

Neste sentido, o trabalho foi realizado através do levantamento de casos de estudo representativos da utilização de diferentes técnicas e materiais. Com o objetivo de identificação das soluções construtivas e materiais aplicados, recorreu-se à termografia ativa, utilizando o sol como fonte de aquecimento do elemento, e foram adquiridos termogramas durante o processo de arrefecimento e/ou aquecimento dos elementos. Os termogramas foram analisados quantitativamente e qualitativamente no sentido de interpretar a variação de temperaturas e de emissão da radiação pelos elementos. Esta análise foi suportada pela utilização de um programa informático que apresenta a vantagem de poderem ser analisadas áreas, pontos e linhas dos termogramas.

A utilização da termografia permitiu identificar alterações construtivas em edifícios, identificar o uso de diferentes materiais, a variação em elementos uniformes que pode significar a existência de patologias no elemento, assim como permite observar o comportamento térmico dos elementos e as diferenças entres estes.

## Palavras-chave

Termografia por infravermelhos, inspeção de edifícios, termografia ativa, análise quantitativa, análise qualitativa de termogramas.



## **Abstract**

In the framework of the rehabilitation of buildings, the inspection and diagnosis phase is essential to identify the materials and techniques applied, thus looking for intervention strategies compatible with the existing building. The use of infrared cameras for this diagnostic phase can contribute to a less intrusive survey, without the need to use tests that damage the construction elements. These devices allow images to be obtained from the amount of radiation emitted by a body, which is translated into temperatures.

Thermography is a technique that is still little used in our country, namely in the area of civil construction, so it is intended to understand the scope and possibilities of using this technique. The objective of this work is to recognize the principles that condition the result of the analysis and the identification of materials and construction techniques.

In this sense, the work was carried out through the survey of case studies representative of the use of different techniques and materials. In order to identify the construction solutions and applied materials, active thermography was used, using the sun as a heating element for the element, and thermograms were acquired during the cooling and / or heating process of the elements. Thermograms were analyzed quantitatively and qualitatively in order to interpret the variation in temperatures and radiation emission by the elements. This analysis was supported by the use of a computer program that has the advantage of being able to analyze areas, points and lines of the thermograms.

The use of thermography allowed to identify constructive changes in buildings, to identify the use of different materials, the variation in uniform elements that can mean the existence of pathologies in the element, as well as to observe the thermal behavior of the elements and the differences between them.

## **Keywords**

Infrared thermography, building inspection, active thermography, quantitative analysis, qualitative analysis of thermograms.



# Índice geral

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do trabalho.....	1
1.2. Objetivos do trabalho.....	1
1.3. Metodologia .....	2
1.4. Estrutura do trabalho .....	2
2. Termografia.....	5
2.1. Radiação infravermelha.....	5
2.2. Leis da Radiação.....	6
2.2.1 Princípios da transmissão de calor .....	6
2.2.2 Corpo negro e corpo real .....	8
2.3. Fatores que influenciam o termograma.....	12
2.3.1 Refletividade .....	13
2.3.2 Distância .....	13
2.3.3 Emissividade .....	13
2.4 Termografia qualitativa e quantitativa .....	16
2.5 Tipos de termografia .....	17
2.6 A termografia aplicada a edifícios.....	18
3. Análise de edifícios com a utilização de termogramas .....	21
3.1. Análise qualitativa na Identificação de soluções construtivas.....	21
3.2 Recolha de dados .....	31
3.2.1 Aspetos gerais.....	31
3.3. Identificação e caracterização do caso de estudo.....	32
3.3.1. Metodologia utilizada para a captação de imagens termográficas... 36	
3.3.2. Equipamento utilizado.....	38
3.3.2.1. Calibração dos termopares .....	39
3.3.3. Análise das imagens com ReasearchIR.....	41
4. Imagens termográficas- dados recolhidos e análise de resultados .....	43
4.1. Generalidades.....	43
4.2. Análise da Fachada Sul.....	44
4.2.1. Zonas analisadas a Sul .....	44
4.3. Análise da Fachada Este .....	64

4.3.1. Zonas analisadas a Este.....	64
4.2.2. Fachada Este – Zona 10.....	64
5. Conclusões.....	75
5.1. Trabalho realizado.....	75
5.2. Conclusões gerais.....	75
5.3. Trabalhos futuros.....	77
Referências.....	79
Anexos.....	81
Anexo A- Caracterização do Caso de Estudo.....	83
Anexo B- Ensaio 1.....	87
Anexo C- Ensaio 2.....	89
Anexo D- Ensaio 3.....	93
Anexo E- Ensaio 4.....	99
Anexo F- Ensaio 5.....	103

## Índice de figuras

Figura 1- Espectro eletromagnético (NASA,2019).....	6
Figura 2 - Formas de transmissão de calor.....	6
Figura 3-Balanco energético na superfície de uma fachada de uma sala de aula quando irradiada.....	7
Figura 4- Lei de Planck: Emitância espectral de um corpo negro em função do comprimento de onda e da temperatura.....	9
Figura 5-Gráfico da lei de Planck com a curva da lei de Wien.....	9
Figura 6- Representação esquemática de uma medição termográfica, onde Trefl- temperatura refletida, Tobj- temperatura do objeto, T atm- temperatura da atmosfera (adaptado de USAMENTIAGA,2014) .....	12
Figura 7-Variação da emissividade com o ângulo de observação (SANTOS,2014).16	
Figura 8-Tipo de termografia.....	17
Figura 9- Esquema para definição do processo de inspeção com termografia (Adaptado de USAMENTIAGA, 2014). .....	18
Figura 10- Casa dos Balcões – Viseu (FERREIRA et all, 2019).....	21
Figura 11 – Caso de estudo - Edifício da Santa Casa da Misericórdia, Rua da Quinta nova, Castelo Branco (Lar de Idosos, Clínica de oftalmologia) .....	26
Figura 12- Edifício, imagem original. ....	29
Figura 13- Bloco “D” em construção já com correção de pontes térmicas. ....	32
Figura 14 - Correção de pontes térmicas, solução de paredes exteriores. ....	33
Figura 15- Fachadas do edifício com a indicação da orientação solar. ....	33
Figura 16- Identificação da parede intervencionada em alçado e em planta Piso 1. ....	35
Figura 17 – Ilustração da placa “Gypcork” (Gyptec,2019).....	36
Figura 18- Fotografias captadas durante o ensaio aos vários equipamentos. ....	37
Figura 19-Câmara termográfica- Modelo E60 .....	38
Figura 20- Instrumentos utilizados no ensaio.....	39
Figura 21 - Exemplo de análise com recurso ao perfil de uma linha. ....	42
Figura 22-Parâmetros do ensaio.....	43
Figura 23- Localização dos termogramas (fachada orientada para sul). ....	44
Figura 24- Localização dos termogramas (fachada orientada para sul). ....	45
Figura 25-Temperaturas medidas “in situ” (Zona 2 – 5/04/2018). ....	47
Figura 26- Temperatura superficial exterior: termografia e medições (Zona 2 – 5/04/2018).....	47
Figura 27-Isolamento colocado sobre o termopar.....	48
Figura 28-Excerto da tabela 18 (Zona 2), representação dos pontos que coincidem com as juntas de argamassa. ....	51
Figura 29- Gráfico com a evolução das temperaturas nos pontos e temperatura ambiente nos vários horários. ....	53
Figura 30-Solução construtiva das zonas 31 e 32, na fachada sul. ....	54

Figura 31- Temperaturas exteriores registadas no ensaio 4.....	55
Figura 32- Temperaturas interiores registadas no ensaio 4. ....	56
Figura 33- Ilustração da estrutura metálica por detrás da placa de gesso cartonada.....	60
Figura 34- Parâmetros medidos no ensaio 5. ....	61
Figura 35- Excerto de termogramas pelo interior durante o ensaio 5 na zona 32. 63	
Figura 36-Localização dos termogramas (fachada orientada a este). ....	64
Figura 37- Temperaturas medidas “in situ” e temperatura média na área identificada nos termogramas (14/04/2018). ....	67
Figura 38-Zona 12 com identificação da laje intermédia do bloco: a) termograma; b) imagem original, EST.....	68
Figura 39- Zona 20: a) primeiro termograma às 11:00h; b) último termograma às 13:00h.....	68
Figura 40- Representação de soluções construtivas na zona 12. ....	69
Figura 41- Gráfico com a evolução das temperaturas médias registadas na zona 12 ao longo do tempo.....	71
Figura 42- Pormenor construtivo do peitoril e da platibanda.....	83
Figura 43-Plantas do Bloco D.....	84
Figura 44-Alçados do Bloco D com a indicação das Zonas estudadas, EST,IPCB.....	85
Figura 45- Localização das áreas relativas a cada ponto captado. ....	87
Figura 46- Localização das áreas relativas a cada ponto captado. ....	89
Figura 47- Localização das áreas relativas a cada ponto captado. ....	93
Figura 48- Localização das áreas relativas a cada ponto captado. ....	99

## Lista de tabelas

Tabela 1- Emissividade de alguns materiais de construção – metais e não metais (Anhas,2018).....	14
Tabela 2 –Pormenor da geometria da fachada – Casa dos Balcões .....	22
Tabela 3- Parede em taipa de fasquio - Orvalho .....	23
Tabela 4- Alvenaria em pedra irregular - Castelo Branco.....	24
Tabela 5- Exemplo de revestimento em Ardósia na cobertura de um edifício na cidade de Castelo Branco.....	24
Tabela 6-Caso de estudo (devoluta) .....	25
Tabela 7-Ampliação em edifício com alvenaria de pedra.....	27
Tabela 8- Edifício da Santa Casa da Misericórdia, Rua Quinta Nova, Castelo Branco .....	28
Tabela 9- Alteração de um edifício corrente .....	29
Tabela 10- Caso de estudo – Castelo Branco (Habitação).....	30
Tabela 12 – Exemplos de patologias identificadas no relatório de 2004 (Ramos, 2004). .....	34
Tabela 13- Medições em °C efetuadas aquando o teste.....	40
Tabela 14- Média de valores de temperatura obtidos em °C e fator de correção final.....	41
Tabela 15- Identificação de ensaios.....	43
Tabela 16- Resultados obtidos pela análise da zona 2. ....	46
Tabela 17-Diferença entre temperaturas obtidas pelo termopar e pelo termograma. ....	48
Tabela 18-Relação da temperatura com a densidade na zona 2. ....	50
Tabela 19-Medição num ponto na argamassa e no azulejo.....	52
Tabela 20- Temperaturas medidas no local durante o ensaio. ....	55
Tabela 21- Termogramas captados no ensaio 4 ZONA 31 – (20/07/2019) .....	57
Tabela 22- Excerto de termogramas na Zona 2 (02/04/2018), ensaio 1 e Zona 31 (20/07/2019), ensaio 4. ....	58
Tabela 23- Termogramas captados no ensaio4 ZONA 32 – (20/07/2019) .....	59
Tabela 24-Esquema com as temperaturas medidas no ensaio 5. (25/07/2019) ..	62
Tabela 25-Termogramas e áreas definidas para medições no “ResearchIR.....	65
Tabela 26- Continuação da tabela 25.....	66
Tabela 27- Temperaturas médias no pano de tijolo e na laje na Zona 12.....	70
Tabela 28-Traçado de linha vertical nos termogramas da zona 12. ....	72
Tabela 28-Parâmetros medidos. ....	87
Tabela 29- Imagens termográficas captadas o ensaio 1.....	88
Tabela 31- Parâmetros medidos. ....	89
Tabela 32- Imagens termográficas captadas o ensaio 2. ....	90
Tabela 33- Imagens termográficas captadas o ensaio 2. ....	91
Tabela 34- Imagens termográficas captadas o ensaio 2. ....	92

Tabela 35- Parâmetros medidos.....	94
Tabela 36- Imagens termográficas captadas o ensaio 3.....	95
Tabela 37- Imagens termográficas captadas o ensaio 3.....	96
Tabela 38- Imagens termográficas captadas o ensaio 3.....	97
Tabela 1- Parâmetros medidos. ....	100
Tabela 39- Imagens termográficas captadas o ensaio 4.....	100
Tabela 40- Imagens termográficas captadas o ensaio 4-Zona 32.....	101
Tabela 41- Registo de medições efetuadas.....	103
Tabela 42- Parâmetros medidos.....	104

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento do trabalho

A qualidade, conforto e durabilidade dos edifícios são três conceitos de referência presentes na sociedade e com grande peso no que diz respeito à edificação.

Para que a edificação tenha o maior período de tempo de vida útil é necessário estar atento ao seu comportamento e à possível existência de patologias que aparecem com o passar do tempo e que exigem ações de manutenção.

Neste contexto torna-se por isso cada vez mais importante empregar técnicas de inspeção e estudo ao edifício mais rápidas, eficientes, a tempo real e de preferência sem a necessidade de destruição de elementos.

Foi então lançado o desafio de estudar a possibilidade de aplicação de um método chamado termografia no estudo dos edifícios, sendo que esta técnica ainda está numa fase pouco desenvolvida ao nível da sua utilidade na área da construção civil.

Foi na década de 60 que surgiram as primeiras câmaras termográficas, grandes e pesadas necessitavam de arrefecimento com recurso a gases como o nitrogénio líquido ou gás comprimido. A sua utilização na área da construção acontece entre a década de 70 e 80. Com a redução do seu tamanho, a portabilidade e a introdução de mecanismos próprios de arrefecimento na década de 90, as câmaras têm sido adaptadas mais ao uso comercial, nomeadamente na área da construção (FOX et al, 2014). As primeiras utilizações de imagens termográficas estão associadas a atividades militares. Atualmente, considerando o fato do equipamento se ter tornado mais acessível, foi possível alargar a sua área de aplicação, sendo atualmente utilizada na medicina, no diagnóstico de instalações e equipamentos mecânicos ou elétricos, na inspeção de edifícios, etc.

A termografia consiste numa ferramenta útil porque baseia-se numa técnica de ensaio não destrutiva, permitindo inspecionar o elemento sem causar danos (MAGUALDE, 2002).

## 1.2. Objetivos do trabalho

Este trabalho tem como objetivo analisar e entender a possibilidade de utilização da termografia como um método viável para a realidade da construção, no sentido de identificar soluções construtivas. Pretende-se ainda realizar um estudo exploratório sobre a possibilidade de diagnosticar a ocorrência de patologias em edifícios com o uso deste equipamento, permitindo assim uma análise não destrutiva do elemento construtivo, assim como a identificação das possíveis causas de ocorrência,

permitindo um acompanhamento da sua evolução através das variações produzidas em termogramas.

Para atingir esses objetivos é fundamental ter em conta os princípios inerentes á termografia e o correto manuseamento do equipamento para obter resultados válidos.

### **1.3. Metodologia**

O trabalho tem uma parte inicial de pesquisa sobre os conceitos e princípios da termografia, assim como a utilização adequada do equipamento, parâmetros térmicos envolvidos na captação do termograma e adequada leitura da imagem.

Num segundo momento, serão analisados um conjunto de edifícios de diferentes épocas de construção localizados na sua maioria em Castelo Branco tendo por base uma observação visual de imagens termográficas.

Num terceiro momento, tendo por base um edifício predefinido, serão feitas inspeções em determinados pontos onde serão produzidos termogramas e registadas, temperaturas superficiais dos elementos, tanto no interior como no exterior, temperatura do ambiente exterior e interior, e humidade relativa no exterior.

De seguida serão analisados os dados recolhidos com recurso a um programa informático apropriado, tornando-se assim possível tirar conclusões e perceber o que é possível concluir no que respeita à constituição das soluções da envolvente e à possibilidade de identificação de patologias através da variação na imagem (termogramas).

### **1.4. Estrutura do trabalho**

O trabalho está estruturado em capítulos, sendo que o presente se destina a contextualizar o problema, identificando-se os objetivos a atingir e a metodologia utilizada para tal.

O capítulo 2 apresenta o estado de arte e refere-se ao funcionamento da termografia e os seus princípios: conceitos físicos, parâmetros térmicos, variações, etc.

O capítulo 3 apresenta uma análise de edifícios com a utilização da camara termográfica, apresentará caso de estudo, as metodologias utilizadas e constará a identificação do equipamento utilizado.

No capítulo 4 são apresentados os termogramas e demais dados recolhidos necessários à análise das imagens. Com a informação agrupada será possível iniciar a

identificação das imagens e tipificação das soluções. O último capítulo será o 5 onde são apresentadas as conclusões sobre o trabalho realizado.



## 2. Termografia

A termografia por radiação infravermelha prende-se com dois fatores principais: a temperatura do objeto e a sua capacidade de emitir essa radiação, fenómeno ao qual chamamos de emissividade.

É uma técnica que permite a captação de imagens que definem temperaturas superficiais de elementos, sendo que a essas imagens damos o nome de termogramas e são captadas por câmaras termográficas (MENDONÇA,2005).

As câmaras de infravermelhos focam os objetos e detetam a radiação infravermelha, esta informação é enviada para sensores eletrónicos que processam esta informação e a transformam numa imagem representativa de temperaturas (termogramas).

Esta é uma técnica não-destrutiva que permite um mapeamento térmico num corpo.

Tendo em conta a complexidade dos elementos construtivos e dos mecanismos de medição de raios infravermelhos, a recolha e análise de termogramas têm de ser executadas com bastante rigor.

### 2.1. Radiação infravermelha

Tal como o nome indica, a termografia por infravermelhos assenta sobre a radiação infravermelha emitida por todos os objetos.

Em 1800 um astrónomo inglês chamado Frederick William Herschel começou a tentar descobrir quais as cores do espectro que eram responsáveis pelo aquecimento dos objetos.

Após algumas experiências, Herschel concluiu que todas as cores tinham temperaturas diferentes e que aumentavam do violeta para o vermelho, sendo que a maior temperatura ocorria para além do vermelho, ou seja, para além do espectro visível (BARREIRA, 2004).

O que Herschel descobriu foi o que hoje chamamos de raios infravermelhos.

Todos os corpos são constituídos por átomos ou moléculas que oscilam em torno das posições de equilíbrio e trocam cargas elétricas entre si, emitindo e absorvendo radiação. Resultam assim agitações internas em torno do centro de gravidade que dão origem a ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos de onda.

O espectro magnético contempla uma vasta gama de comprimentos de onda onde temos a região visível ao olho humano e, após o vermelho, a região dos infravermelhos que é invisível. A Figura 1 apresenta os tipos de raios e o seu comprimento de onda, assim como o espectro de luz visível.

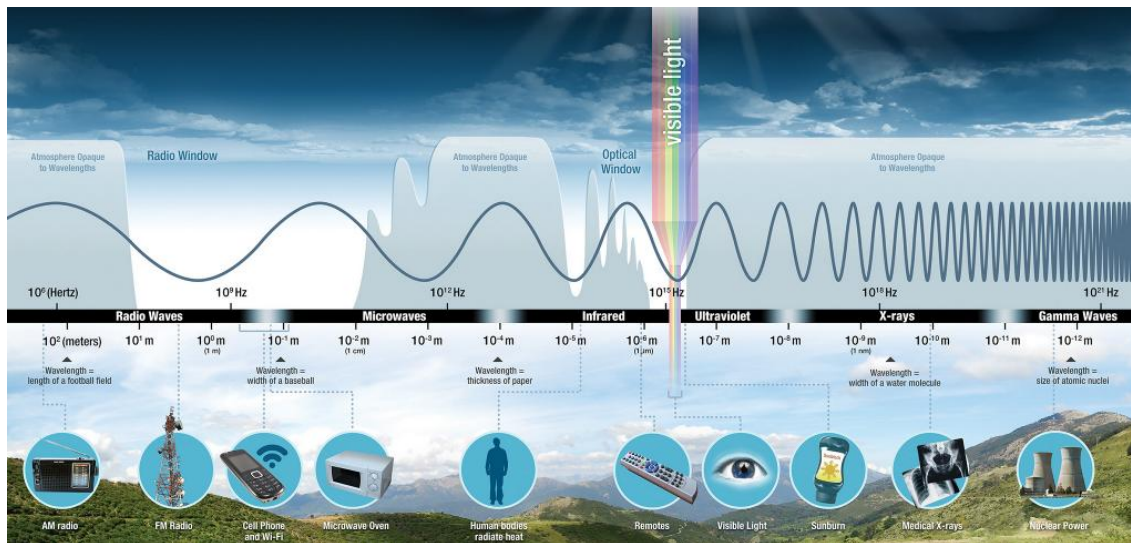


Figura 1- Espectro eletromagnético (NASA,2019).

A termografia infravermelha consiste na aquisição e processamento de informação térmica recolhida por um equipamento que tem a capacidade de captar a radiação infravermelha emitida pelos elementos. Esta radiação é emitida por todos os corpos com temperatura acima do zero absoluto ( $t > 0^\circ\text{K}$  ou  $\cong -273^\circ\text{C}$ ), caracterizada por um grande comprimento de onda que é invisível ao olho humano.

As imagens captadas utilizando as câmaras de infravermelhos são convertidas em imagens visíveis através da atribuição de cores para cada nível de energia infravermelha. O resultado é uma imagem com cores falsas denominadas de termograma.

## 2.2. Leis da Radiação

### 2.2.1 Princípios da transmissão de calor

Para que exista fluxo de energia térmica tem de haver uma fonte de calor, sendo que este flui de zonas mais quentes para zonas mais frias.

Existem três modos de transferência de calor: a radiação, a condução e a convecção (estas são ilustradas na Figura 2).

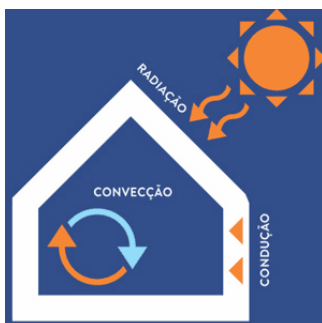


Figura 2 - Formas de transmissão de calor.

A convecção é um modo de transferência de calor em líquidos e gases, ou entre um sólido e um líquido ou gás confinante que está em movimento a diferentes temperaturas. A transferência é feita por correntes de convecção circulares que se formam devido à diferença de densidade entre fluidos, sendo que a densidade muda conforme a temperatura.

A condução é a transmissão de calor no corpo, as partículas moleculares mais energéticas e associadas à maior temperatura transferem parte dessa energia pelas partículas moleculares vizinhas até ao equilíbrio térmico.

Relacionado a este modo de transferência de calor temos uma propriedade chamada condutibilidade térmica que quantifica a capacidade de os materiais conduzirem energia térmica (ANHAS,2018).

Quanto mais baixa for a condutibilidade do objeto, mais resistência este apresenta na transferência de calor e ao qual chamamos de isolante, caso contrário se a condutibilidade for alta, o objeto é menos resistente e chamamos de bom condutor.

A radiação é o único mecanismo de transferência de energia ou de calor que não necessita de meio físico para ocorrer, pode circular no vácuo, não exige a presença de um meio material, este também é o único modo de transferência de calor detetado pelas câmaras infravermelhas (ANHAS,2018). Esta energia pode ser parcialmente absorvida, refletida e até mesmo transmitida por outro corpo.

A Figura 3 representa a energia captada pela câmara termográfica ao ser direcionada para a fachada de um edifício no qual esteve a incidir radiação solar.

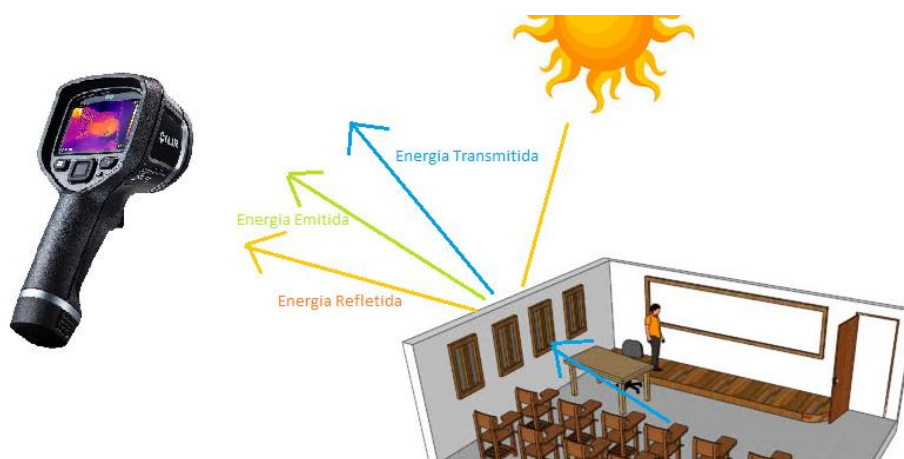


Figura 3-Balanço energético na superfície de uma fachada de uma sala de aula quando irradiada.

As quantidades de energia refletida, emitida ou transmitida variam em função dos agentes atmosféricos, pelas diferenças de calor entre objetos, pelas distâncias entre o corpo e fonte, entre outros, é então importante conhecer as leis da radiação as quais têm como princípio o corpo negro.

### 2.2.2 Corpo negro e corpo real

O corpo negro define a única superfície capaz de absorver toda a radiação incidente, sendo que nenhuma parte é refletida nem transmitida.

Este corpo também tem a capacidade de emitir toda a radiação incidente, independentemente do comprimento de onda e da direção, pelo que tende a criar equilíbrio térmico com o ambiente envolvente, como explica a lei de Kirchoff (SANTOS,2014).

O corpo negro é, portanto, um emissor perfeito, no qual a emissividade tem o valor igual á unidade ( $\varepsilon=1$ ).

Existem várias leis da física para demonstrar a maneira como o corpo distribui a sua energia emitida (Santos, 2014).

A lei de Planck, que relaciona a energia da radiação emitida pelo corpo negro e o comprimento de onda:

$$W_{\lambda cn} = \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \cdot (e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T}} - 1)} \quad [W \cdot m^{-3}] \quad (1)$$

Onde;

$W_{\lambda cn}$	[W.m <sup>-3</sup> ] ou [J.s <sup>-1</sup> .m <sup>-3</sup> ]	Radiância espectral, emissão radiante do corpo negro
h	=6,626176 X 10 <sup>-34</sup> [W.s <sup>2</sup> ] ou [J.s]	Constante de Planck
c	=2,998 X 10 <sup>8</sup> [m.s <sup>-1</sup> ]	Velocidade da Luz
$\lambda$	[ $\mu$ m]	Comprimento de onda
K	=1,380662 x 10 <sup>-23</sup> [J.K <sup>-1</sup> ]	Constante de Boltzman
T	[K]	Temperatura absoluta

Como se pode constatar, segundo a equação 1, a radiância espectral do corpo negro dá-se em função do comprimento de onda ( $\lambda$ ) e da temperatura (T), então é comum que esta tenha uma representação gráfica por curvas (Figura 4).

Como se pode observar na Figura 4, a radiância espectral é nula para comprimento de onda igual a zero e aumenta até a radiância ser máxima, voltando a reduzir com o aumento do comprimento de onda. A valores de temperatura absoluta superiores estão associados valores de comprimento de onda para o qual ocorre o máximo valor da radiância espectral mais pequenos (BARREIRA,2004).

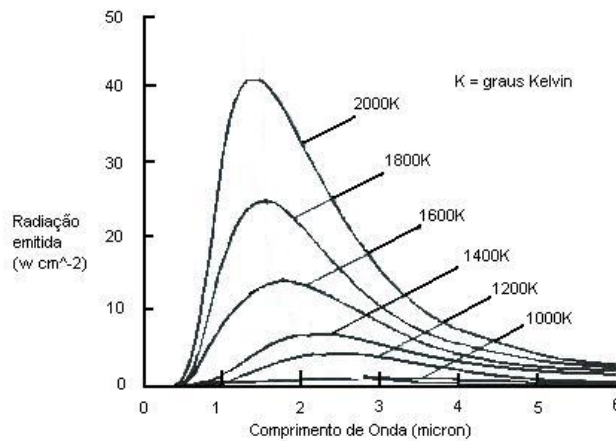


Figura 4- Lei de Planck: Emitância espectral de um corpo negro em função do comprimento de onda e da temperatura.

A lei de Wien obtém-se da derivada de lei de Planck e vêm traduzir o deslocamento do máximo valor da radiância espectral segundo a temperatura.

$$\frac{dW_{\lambda_{cn}}}{d\lambda} = 0 \Rightarrow \text{derivação da lei de Planck} \Rightarrow \lambda_{m\acute{a}x} = \frac{b}{T} (=) \lambda_{m\acute{a}x} = \frac{2898}{T} [\mu m] \quad (2)$$

Onde;

$\lambda_{m\acute{a}x}$	$[\mu m]$	Comprimento de onda máximo
T	$[K]$	Temperatura
b = 2898	$[\mu m]$	Constante de dispersão de Wien

Na Figura 5 é observável as curvas de Planck e uma linha de cor verde que representa o máximo da emitância para cada temperatura como é descrito pela lei de Wien. As curvas ilustradas no gráfico mostram que quanto mais quente estiver o corpo mais poder de radiação tem.

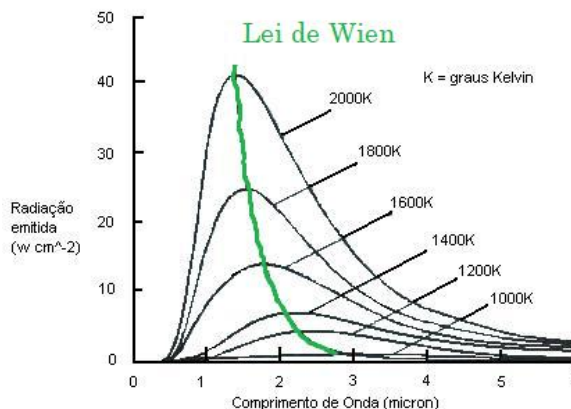


Figura 5-Gráfico da lei de Planck com a curva da lei de Wien.

A lei de Stefan-Boltzaman relaciona a temperatura e energia de radiação emitida pelo corpo negro permitindo obter o valor da radiância espectral para uma determinada temperatura. Esta lei provém da equação da lei de Planck, no intervalo entre zero e infinito em função do comprimento de onda obtendo-se de acordo com a seguinte expressão:

$$W_{cn} = \int W_{\lambda cn} d\lambda = \sigma \cdot T^4 \quad [W/m^2] \quad (3)$$

Onde;

$$\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}] \quad \text{Constante de Stefan-Boltzman}$$

Com o aumento da temperatura do corpo negro, também aumenta a quantidade de energia radiante emitida (Pereira, 2014).

De maneira geral, os corpos não são negros e as leis têm de se adaptar, pois, os materiais correntes têm um poder de radiação inferior ao de um corpo negro na mesma temperatura e comprimento de onda. À propriedade que traduz a relação entre a energia efetivamente emitida pelo corpo real e a energia emitida pelo corpo negro (à mesma temperatura) chamamos de emissividade (BARREIRA, 2004).

Num corpo real, a radiação é parcelarmente absorvida ( $\alpha$ ), refletida ( $\rho$ ) e transmitida ( $\tau$ ). Estas propriedades dependem do comprimento de onda ( $\lambda$ ) e o seu somatório é sempre igual á unidade como indica a equação 4.

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1 \quad (4)$$

Onde:

- $\alpha_\lambda$  Absorção espectral
- $\rho_\lambda$  Reflexão espectral
- $\tau_\lambda$  Transmissão espectral

Para o mesmo comprimento de onda segundo, segundo a referida expressão, é possível relacionar os diferentes parâmetros.

O equilíbrio no sistema implica que a energia absorvida pelo corpo iguale a energia emitida por ele, sendo que a capacidade com que o objeto emite energia regesse em função da chamada emissividade ( $\epsilon$ ).

Então, para um determinado comprimento de onda ( $\lambda$ ) e segundo a lei de Kirchoff, considerando-se um qualquer material a determinada temperatura temos:

$$\alpha_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} \quad (5)$$

Onde:

$\alpha_{\lambda}$  Absorção espectral

$\varepsilon_{\lambda}$  Emissividade

Aplicando as expressões 4 e 5 obtemos o seguinte:

$$\varepsilon_{\lambda} + \rho_{\lambda} + \tau_{\lambda} \quad (6)$$

Segundo o princípio da conservação da energia, deduz-se que a emissividade é igual á absorção, para qualquer temperatura e comprimento de onda.

Concluindo, um corpo bom absorvedor é um bom radiador, e um corpo bom refletor é um mau radiador como por exemplo as superfícies brilhantes (PEREIRA, 2014).

Quando expomos um corpo à luz solar este absorve os raios infravermelhos, de acordo com o seu coeficiente de absorção, estando ao mesmo tempo a irradiar infravermelhos, de acordo com a sua emissividade para determinada temperatura e comprimento de onda.

Então para um corpo real, a lei de Stefan-Boltzman converte-se na seguinte expressão (ANHAS, 2018):

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \quad (7)$$

Onde:

W	[W/m <sup>2</sup> ]	Quantidade de calor transferido por radiação por unidade de área
$\varepsilon$		Emissividade
$\sigma = 5,7 \times 10^{-8}$	[W.m <sup>-2</sup> . K <sup>-4</sup> ]	Constante de Stefan-Boltzman
T	[K]	Temperatura

### 2.3. Fatores que influenciam o termograma

A temperatura medida através de câmaras termográficas consiste na medição da radiação emitida pelo objeto, sendo que a energia detetada é convertida para valores de temperatura. No entanto, nem toda a radiação recebida vem do objeto analisado, pelo que para medir a temperatura de forma assertiva, a radiação proveniente de outras fontes, como objetos próximos ou a atmosfera, devem ser retiradas para a conversão em temperatura. Este processo é chamado de compensação. Assim, a radiação total recebida pela câmara ( $W_{tot}$ ) consiste na soma de três fontes: emissão do próprio objeto ( $W_{obj}$ ), emissão da envolvente e energia refletida pelo objeto ( $W_{refl}$ ), emissão da atmosfera ( $W_{atm}$ ). Este processo está representado no esquema da Figura 6 e pode ser calculado com a expressão 8 (USAMENTIAGA, 2014).

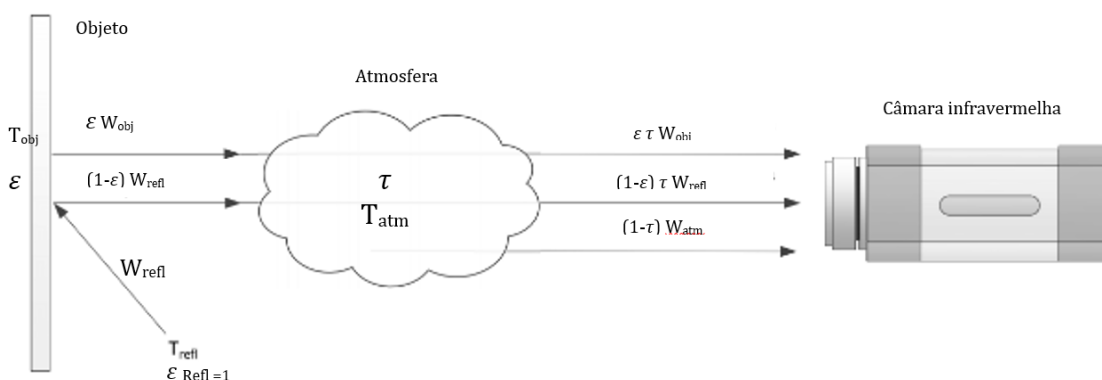


Figura 6- Representação esquemática de uma medição termográfica, onde  $T_{refl}$ - temperatura refletida,  $T_{obj}$ - temperatura do objeto,  $T_{atm}$ - temperatura da atmosfera (adaptado de USAMENTIAGA,2014) .

A potência total medida pela câmara é dada pela seguinte expressão:

$$W_{tot} = \varepsilon \cdot \tau \cdot W_{obj} + (1 - \varepsilon) \cdot \tau \cdot W_{refl} + (1 - \tau) \cdot W_{atm} \quad (8)$$

Onde,

- $W_{tot}$  Energia total da radiação medida pela câmara
- $\varepsilon$  Emissividade
- $\tau$  Coeficiente de transmissibilidade da atmosfera (atenuação atmosférica)
- $W_{obj}$  Energia radiada a partir do objeto
- $W_{refl}$  Energia refletida a partir do objeto
- $W_{atm}$  Energia relativa à absorção da atmosfera

O parâmetro mais importante e que deve ser calibrado para a medição de temperaturas com câmaras de infravermelhos é a emissividade. Este parâmetro indica a quantidade de radiação emitida por um objeto quando comparado com um corpo negro à mesma temperatura. Assim, materiais de baixa emissividade emitem menos radiação infravermelha que materiais com valores de emissividade elevados à mesma temperatura.

No entanto existem outros parâmetros a influenciar as medições enumerados de seguida.

### **2.3.1 Refletividade**

A refletividade dos materiais que prende-se com o fato de um corpo real para além de absorver e emitir radiações, também refletir radiação de corpos vizinhos (SANTOS, 2014);

### **2.3.2 Distância**

A distância entre a câmara e o objeto, nesta relação o que acontece é que com o aumento da distância aumenta também a área da superfície a analisar perdendo-se assim o detalhe. A questão do detalhe está ligada com a análise de imagens no software, o número de pixéis da imagem é sempre o mesmo, no entanto a imagem pode representar maior ou menor superfície, no caso em que é captada menor superfície temos mais detalhe, ou seja, quanto menor a superfície, mas pixéis temos para analisar sobre uma zona mais específica logo mais detalhe com a proximidade.

A atenuação atmosférica para distâncias de medição inferiores a 10 m pode ser um fator a desprezar;

### **2.3.3 Emissividade**

E por último a emissividade que é a eficiência com que o objeto emite energia, o que quer dizer que quanto menor for a emissividade menor é a capacidade de o corpo emitir energia.

A emissividade depende das propriedades do material do objeto, sendo um parâmetro compreendido entre 0 e 1 e que pode ser obtido rigorosamente com recurso a ensaios “in situ” sob condições de ambiente controladas ou, em alternativa não tão rigorosa, recorre-se a valores de referência tabelados que se aproximem das mesmas circunstâncias de ensaio.

Tabela 1- Emissividade de alguns materiais de construção - metais e não metais (ANHAS,2018)

<b>Material</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Emissividade (ε)</b>	
<i>Aço com ferrugem</i>	20	0.69	<b>Metais</b>
<i>Aço muito oxidado</i>	50	0.88	
<i>Aço não oxidado, polido</i>	100	0.07-0.08	
<i>Alumínio, superfície rugosa</i>	20-50	0.06-0.07	
<i>Cobre polido</i>	21-100	0.02-0.03	
<i>Cobre rugoso</i>	38	0.74	
<i>Ferro enferrujado</i>	20-25	0.61-0.85	
<i>Ferro galvanizado, brilhante</i>	-	0.13	
<i>Ferro não oxidado, polido</i>	100	0.05-0.07	
<i>Ferro oxidado</i>	100	0.64-0.74	
<i>Água</i>	38	0.67	<b>Não metais</b>
<i>Alcatrão</i>	-	0.79-0.84	
<i>Alvenaria de pedra</i>	38	0.93	
<i>Areia</i>	20	0.60-0.76	
<i>Betão</i>	0-100	0.92-0.94	
<i>Betão castanho</i>	-	0.83-0.87	
<i>Betão cinzento</i>	-	0.62-0.63	
<i>Cimento</i>	-	0.54	
<i>Gelo</i>	0	0.96-0.97	
<i>Granito</i>	21	0.45	
<i>Gravilha</i>	38	0.28	
<i>Madeira</i>	-	0.80-0.90	
<i>Madeira, carvalho</i>	38	0.91	
<i>Mármore branca</i>	38	0.95	
<i>Mármore cinzenta, polida</i>	20-22	0.93	
<i>Papel branco</i>	20	0.70-0.95	
<i>Papel preto mate</i>	-	0.94	
<i>Pedra calcária</i>	38	0.95	
<i>Reboco</i>	-	0.91	
<i>Solo argiloso</i>	20	0.66	
<i>Solo, arado</i>	20	0.38	
<i>Tijolo refratário</i>	20	0.85	
<i>Tijolo vermelho</i>	20-21	0.88-0.93	
<i>Vidro</i>	0-100	0.91-0.94	

Para a utilização dos valores tabelados é necessário verificar as condições de medição, em particular as temperaturas de ensaio (T), o acabamento do material, ângulo de medição ( $\theta$ ) e comprimento de onda ( $\lambda$ ). Estes são os fatores principais que influenciam a emissividade de um material (ANHAS, 2018).

É determinante o conhecimento do valor da emissividade da superfície do objeto em estudo para a correta leitura dos resultados termográficos obtidos da captação de imagens termográficas.

A Tabela 1 apresenta alguns valores de emissividade para materiais de construção.

A emissividade pode variar em função de diversos fatores, nomeadamente:

### **a) Em função da temperatura**

Em bom rigor, o ambiente onde a medição é realizada deve ser mantido, se possível, a uma temperatura constante.

Esta hipótese deve se colocar aquando da medição em superfícies de metal ou altamente refletivas pois a emissividade destes materiais tende a elevar-se com o aumento da temperatura, já com os não metais acontece o inverso, a emissividade diminui com o aumento da temperatura.

A maioria dos materiais de construção, que serão os materiais correntes no estudo efetuado, apresenta valores entre 0,90 e 0,95, o que facilita a obtenção precisa da sua temperatura.

### **b) Em função do comprimento de onda**

Segundo o autor Gaussorgues (1999), a emissividade varia com o comprimento de onda nos sólidos de uma forma lenta e, nos líquidos e gases apresenta variações bruscas. No caso dos materiais de construção, estamos perante materiais sólidos então é expectável que se encontrem num comportamento lento.

Para os metais, a emissividade tende a diminuir com o aumento do comprimento de onda, já com os não metais a tendência é inversa onde se verifica o aumento da emissividade com o aumento do comprimento de onda.

### **c) Em função do ângulo de observação**

O ângulo de observação é um fator a ter em conta aquando estamos a captar imagens termográficas. Segundo o diagrama da Figura 7, quando o ângulo aumenta em ralação à normal da superfície do objeto, a emissividade diminui. Em particular nas superfícies planas e sem alteração do material, a emissividade varia de ponto para ponto consoante o ângulo. Pode-se concluir do diagrama que só a partir de um ângulo de 45° em relação á normal a emissividade começar a baixar, sendo que reduz bruscamente a partir de 50-60°.

Num ângulo reto as imagens não apresentam variações e até aos 45° essas variações são insignificantes (SANTOS, 2014).

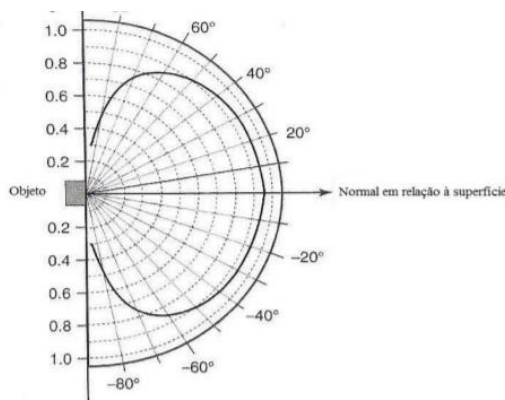


Figura 7-Variação da emissividade com o ângulo de observação (SANTOS,2014).

#### d) Em função da geometria e condições do objeto

A geometria também é um fator relevante no que toca à emissividade, formas côncavas aumentam a emissividade, formas convexas a fazem diminuir. O estado do objeto também pode ser um condicionante que agrava a emissividade, por exemplo no caso do metal com a presença de oxidação, ou no betão com a presença de humidade (PEREIRA, 2014).

## 2.4 Termografia qualitativa e quantitativa

Existem dois tipos de princípios diferentes de análise da termografia: a qualitativa e a quantitativa.

A análise qualitativa é rápida, fácil interpretação e é utilizada sempre que o objetivo é uma abordagem superficial, os termogramas são analisados apenas pela observação e sem detalhes de medição, permite avaliar tecnicamente o objeto em estudo.

Na análise quantitativa são registadas as temperaturas superficiais através dos termogramas e de alguns parâmetros. Este método é mais lento pois requer mais rigor e mais detalhe, esta análise consiste num levantamento de termogramas, registo de medições de parâmetros com equipamento bem calibrado para comparação de valores reais de temperatura para o objeto em estudo.

A termografia qualitativa pende pela análise de padrões térmicos para descobrir as anomalias e a sua localização, enquanto que, na termografia quantitativa são utilizados valores de medição de temperaturas para quantificar o grau de gravidade da anomalia (BARREIRA, 2004).

Neste trabalho será inicialmente adotada uma abordagem ao nível da termografia qualitativa, para identificar os padrões que definem as soluções construtivas existentes nos termogramas captados.

Posteriormente serão realizadas análises mais profundas num só edifício para tentar verificar a existência de anomalias no elemento e parâmetros térmicos através de uma análise quantitativa.

## 2.5 Tipos de termografia

Existem dois tipos de termografia, sendo que estes são relacionados com a utilização ou não de uma fonte de calor e são denominadas de ativa e passiva.

Na termografia passiva não existe a necessidade de estímulos artificiais para que a estrutura ou elemento consiga emitir radiação infravermelha em quantidade suficiente para análise de imagens. Os próprios objetos servem como fonte de energia que é captada pela câmara, energia esta emitida pelo objeto no processo de arrefecimento ou aquecimento (em função da temperatura do meio).

Na termografia ativa existe a utilização de um estímulo térmico externo que funciona como fonte de energia, sendo emitida radiação que é refletida pelo objeto em estudo e captada pela câmara (PLEȘU, 2012; SANTOS, 2014). Esta foi a técnica utilizada no presente trabalho, sendo que a radiação solar foi considerada como a fonte de energia utilizada para aquecer o objeto. A Figura 8 representa o princípio da termografia ativa que assenta na análise do objeto durante o seu processo de aquecimento ou arrefecimento com recurso a uma fonte de calor.

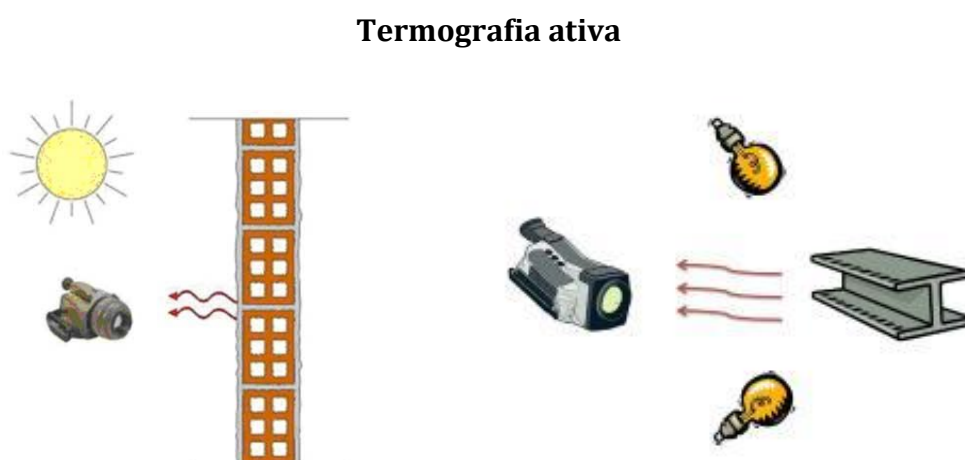


Figura 8-Tipo de termografia.

## 2.6 A termografia aplicada a edifícios

A utilização da termografia na inspeção de edifícios implica que se defina quais os princípios que serão utilizados. O tipo de abordagem, se passiva ou ativa. Como será realizada a análise dos termogramas: i) quantitativa, quando se analisam as variações das temperaturas através de métodos numéricos; ii) qualitativa, através da análise visual das variações dos termogramas, que reflete a variação na radiação emitida pelo elemento. A localização onde serão adquiridos os termogramas: se no interior, exterior ou em ambos. A Figura 9 apresenta um esquema do planeamento para uma inspeção com recurso à termografia.

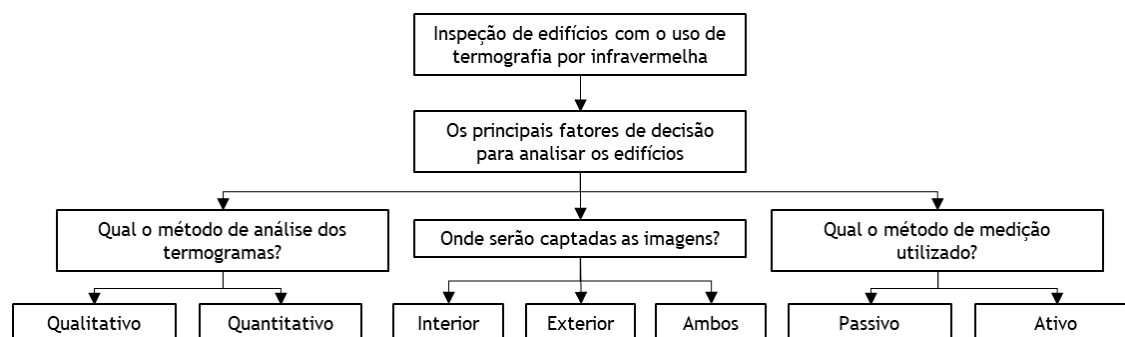


Figura 9- Esquema para definição do processo de inspeção com termografia (Adaptado de USAMENTIAGA, 2014).

A termografia como técnica de manutenção e inspeção de edifícios possui diversas vantagens, nomeadamente:

- É uma tecnologia que não necessita de contato: o dispositivo de medição não necessita de contato com a fonte de calor;
- Permite a aquisição de imagens bidimensionais, o que permite a comparação entre áreas do objeto que se pretende analisar;
- Permite a captação de uma imagem em tempo real, não só de objetos imóveis, mas também de corpos que se movimentem rapidamente ou com alterações dos seus padrões térmicos;
- A radiação infravermelha não tem qualquer risco, sendo passível de usos repetidos ou prolongados;
- É uma técnica não invasiva, assim não causa danos ao elemento analisado.

Para a análise serão feitas inspeções onde serão produzidos termogramas e registadas as temperaturas superficiais dos elementos tanto no interior como no exterior.

É necessário ter em conta que podem surgir irregularidades na temperatura superficial do objeto devido a:

- i) condições térmicas do objeto e da sua envolvente durante o ensaio;
- ii) presença de fontes externas, como sombras, poeiras, fumos;
- iii) superfícies com diferentes acabamentos entre outros.

Nas medições feitas pelo exterior é necessário ter em conta os fatores externos que afetam a radiação emitida pelos elementos e captada pela câmara. Os fatores externos que devem ser tomados em consideração estão relacionados com o clima, nomeadamente, a luz solar, o vento e a chuva.

Os resultados das medições, devido á radiação solar, serão diferentes durante todo o dia, antes de amanhecer teremos um efeito de radiação solar mínimo e ao meio-dia o máximo. Os elementos irão então obedecer á seguinte regra: ao amanhecer começam a aquecer, ao meio-dia os elementos estarão na temperatura máxima, as fachadas têm a capacidade de armazenamento de calor durante a exposição solar e ao anoitecer vão dissipar todo esse calor.

O vento pode influenciar a distribuição da temperatura na superfície do objeto.

As medições não devem ser feitas em dias de chuva ou de grande humidade pois estes dois fatores têm alta emissividade e não permitem que a radiação infravermelha do objeto chegue á lente da camara.

A estação do ano também produz efeitos diferentes nos resultados obtidos na captação de imagens termográficas pois no verão o ângulo de elevação da radiação solar direta é maior por isso um edifício também esta exposto a maior radiação solar do que no inverno.

Nas medições pelo interior é possível controlar temperaturas internas, impedir a ação do vento e verificar os comportamentos da fachada aquando o seu arrefecimento ou aquecimento dependendo da hora do ensaio.

Outro detalhe importante é a proximidade da câmara à superfície a analisar, quanto mais longe a câmara estiver do elemento a analisar menos pormenor se conseguirá obter, visto que a avaliação da imagem é feita por pixéis.

Depois existem fatores como a cor do elemento, a textura, a presença de sujidade, sombras, entre outros que podem trazer problemas de interpretação dos termogramas devemos evitá-los (SANTOS, 2014).

A utilização da termografia poderá ser uma ferramenta importante no processo construtivo desde a pós-construção com a avaliação de edifícios vizinhos, durante a construção para determinar situações anómalas nos elementos construtivos e após a construção como técnica de manutenção não destrutiva.



### 3. Análise de edifícios com a utilização de termogramas

#### 3.1. Análise qualitativa na Identificação de soluções construtivas

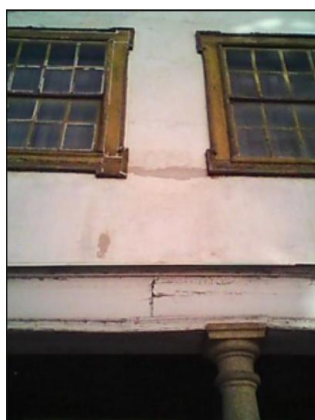
Recorrendo-se à utilização de uma câmara termográfica FLIR E60, foram realizados alguns trabalhos de campo no sentido de identificar e aferir as potencialidades da termografia para a identificação de soluções construtivas. A utilização deste equipamento pode ser fundamental para a identificação de soluções construtivas em edifícios existentes, contribuindo para a adoção de soluções e materiais compatíveis.

Foi ainda observada a ação do sol enquanto fonte de calor natural. Embora não seja possível controlar a quantidade de radiação incidente, o sol pode contribuir para a identificação das soluções visto que aquece o material, sendo possível observar o seu processo de arrefecimento ou de aquecimento (termografia ativa).

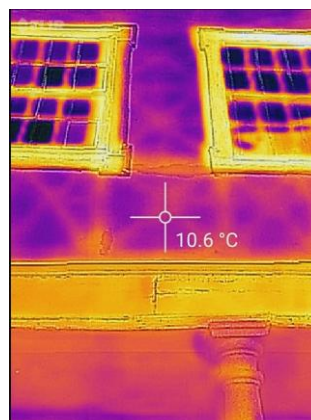
Se seguida retratam-se algumas tipologias de construção, de diferentes épocas, identificadas a partir de imagens captadas com o recurso à termografia.

A Figura 10 e Tabela 2 apresentam imagens do caso de estudo da ‘Casa dos Balcões’, localizada no centro antigo da cidade de Viseu. A análise da imagem permite identificar a solução construtiva utilizada, definindo o tipo de intervenção mais adequada à preservação do património existente.

O referido edifício, característico da zona antigo e com uma solução de construção tradicional portuguesa, apresenta paredes exteriores com estruturas de madeira, denominadas de Cruz de Santo André. A existência desta estrutura condiciona a largura e altura dos vãos, o espaçamento entre estes, o afastamento dos vãos aos cunhais, etc. A cruz assume a função e módulo definidor de toda a geometria do elemento.



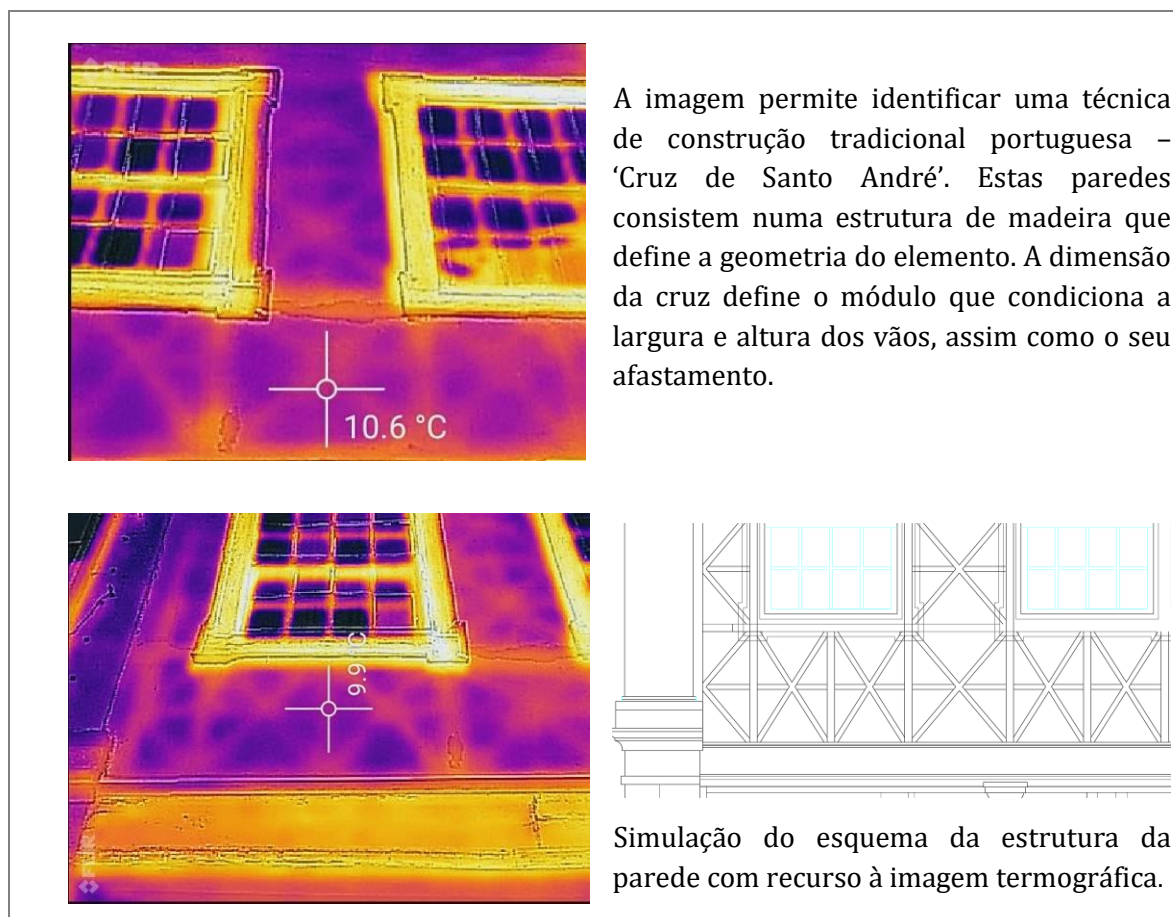
a) Imagem exterior da fachada do edifício



b) Termograma da fachada

Figura 10- Casa dos Balcões - Viseu (FERREIRA et al, 2019)

Tabela 2 - Pormenor da geometria da fachada - Casa dos Balcões



A captação da imagem com o pormenor apresentado só foi possível devido ao aquecimento do elemento. Após um período de exposição solar, a imagem foi captada quando a parede se encontrava num processo de arrefecimento natural. A tentativa de captação da imagem numa parede adjacente pelo exterior, sob as mesmas condições, resultou em termogramas inconclusivos, embora a captação da imagem na mesma parede adjacente, mas pelo interior indicou a utilização da mesma solução (Figura 11).

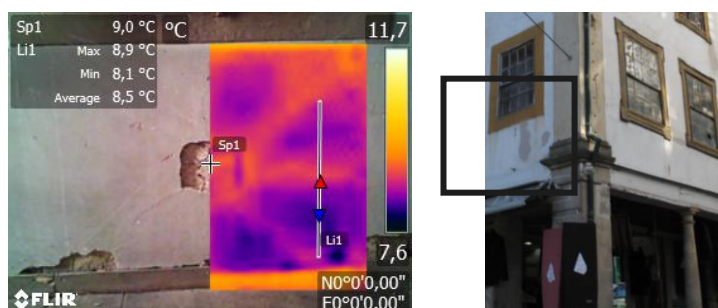
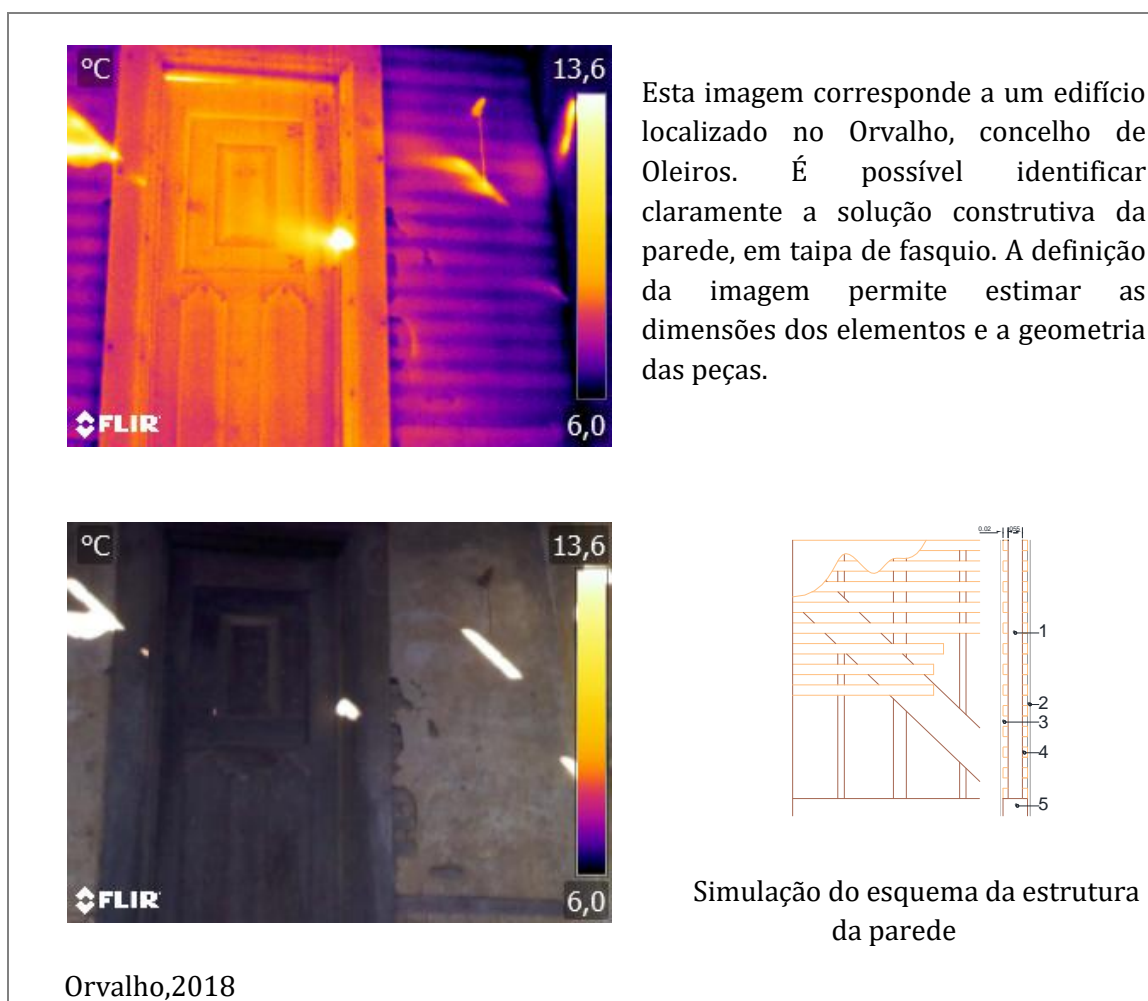


Figura 11- Termografia da parede adjacente (Interior)

A análise de um edifício tradicional em outra localidade, no Orvalho, permitiu identificar claramente a utilização de técnica de construção de paredes interiores e

exteriores, denominada de taipa de fasquio (TEIXEIRA, 1998). A Tabela 3 apresenta as imagens recolhidas, sendo possível identificar o ripado horizontal denominado de 'fasquio', que apresenta uma temperatura superior à zona preenchida com argamassa.

Tabela 3- Parede em taipa de fasquio - Orvalho

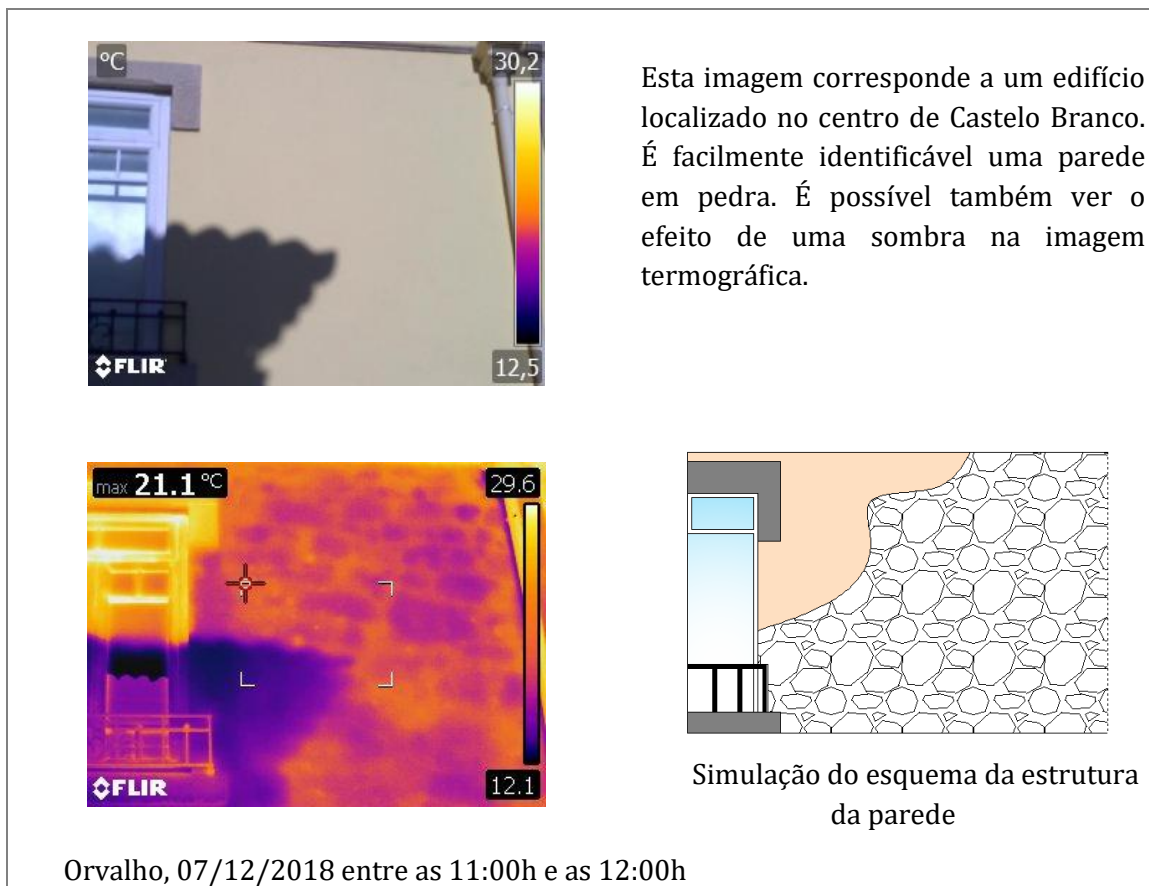


Durante um trabalho de campo, na recolha de termogramas desta vez na cidade de Castelo Branco, conseguiu-se identificar uma fachada exterior em pedra de uma habitação restaurada.

Na Tabela 4 temos o termograma onde foi possível distinguir com alguma facilidade as pedras que compõem a parede exterior, que está revestida com argamassa.

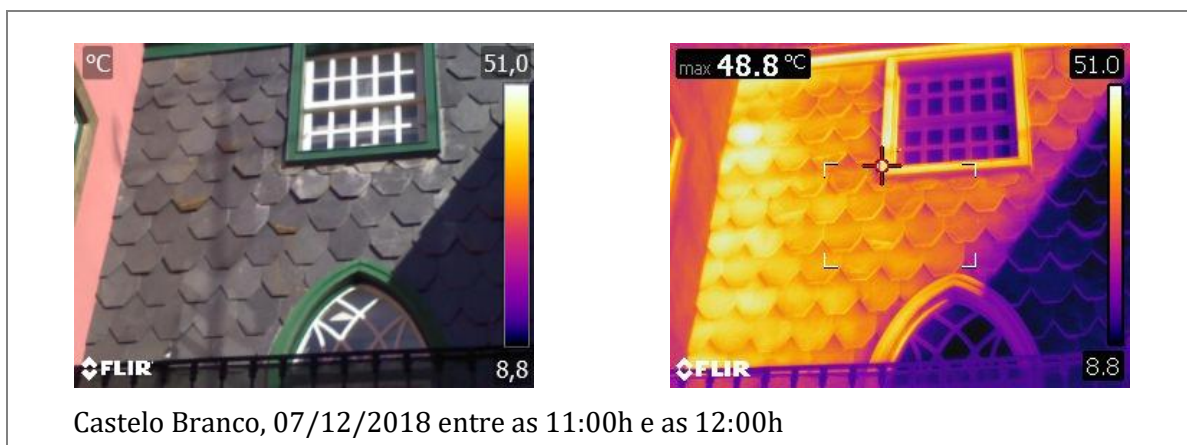
É possível, numa análise mais rigorosa e com recurso a programas informáticos, perceber a dimensão das pedras e as juntas de ligação. A sombra na imagem traduz-se num efeito de abaixamento da radiação infravermelha captada pela câmara, revelando-se no termograma como uma zona mais fria.

Tabela 4- Alvenaria em pedra irregular - Castelo Branco



Nas imagens da tabela 5 conseguimos perceber o efeito do revestimento da cobertura, que com a sua cor escura possui um coeficiente de absorção elevado, emitindo assim muita radiação. Os vidros revelam-se como superfícies frias devido ao facto de ser um material de superfície refletiva, emissividade baixa e nas medições termografias apresentam valores de temperatura inferiores ao real. (SANTOS,2014)

Tabela 5- Exemplo de revestimento em Ardósia na cobertura de um edifício na cidade de Castelo Branco.



As imagens da Tabela 6 foram captadas em uma janela localizada num prédio devoluto na cidade de Castelo Branco, junto à zona central. No seu termograma é possível identificar a laje intermédia localizada na zona mais quente e nas zonas mais frias, acima e a baixo da laje é possível distinguir o pano da fachada, no entanto não é possível tirar mais conclusões como por exemplo quais os materiais empregues na constituição das soluções construtivas.

Tabela 6-Caso de estudo (devoluta)



Ainda se recorrendo a uma análise qualitativa, foram estudados outros casos em Castelo Branco, localizados na rua da Quinta Nova, onde foram registados termogramas em diferentes horários e onde foram registados os resultados nas tabelas seguintes.

O primeiro caso analisado foi de um edifício que foi alvo de intervenção, sendo atualmente utilizado como Centro de Dia, pertencente à Santa Casa da Misericórdia. As imagens foram captadas após a incidência da radiação solar, algumas entre as

11:00 e as 12:00h e, outras, ao final do dia com uma temperatura exterior mais amena, quando os elementos se encontravam numa fase de arrefecimento. A Figura 11 apresenta a imagem geral do edifício.

É possível identificar claramente a área da parede que foi ampliada, permitindo o aumento da cércea do edifício. É possível verificar que a alvenaria em pedra foi mantida, tendo sido acrescentada altura à parede com a utilização de alvenaria de tijolo ou blocos de betão. É ainda possível identificar a utilização de pilares de betão que sustentam a estrutura da cobertura. A Tabela 7 apresenta as imagens recolhidas e permite visualizar os termogramas analisados.

A diferença de temperaturas entre a alvenaria em pedra e a alvenaria em tijolo pode ser explicada devido à diferença de densidade dos materiais e a quantidade de energia necessária para os aquecer. Se o termograma capta a radiação emitida, e considerando que o tijolo aquece mais rapidamente que a pedra quando submetido à mesma radiação, será natural que atinja temperaturas superiores, emitindo mais radiação infravermelha.

A identificação deste tipo de soluções pode ainda contribuir para a identificação de causas de patologias que possam surgir no futuro. Caso a parede venha a apresentar fissuração na zona de transição entre os materiais, a aquisição de um termograma com a identificação da mesma permitirá aferir a causa da sua ocorrência, sem a necessidade de se recorrer a ensaios que possam danificar o elemento.



Figura 11 - Caso de estudo - Edifício da Santa Casa da Misericórdia, Rua da Quinta nova, Castelo Branco (Lar de Idosos, Clínica de oftalmologia)

Tabela 7-Ampliação em edifício com alvenaria de pedra

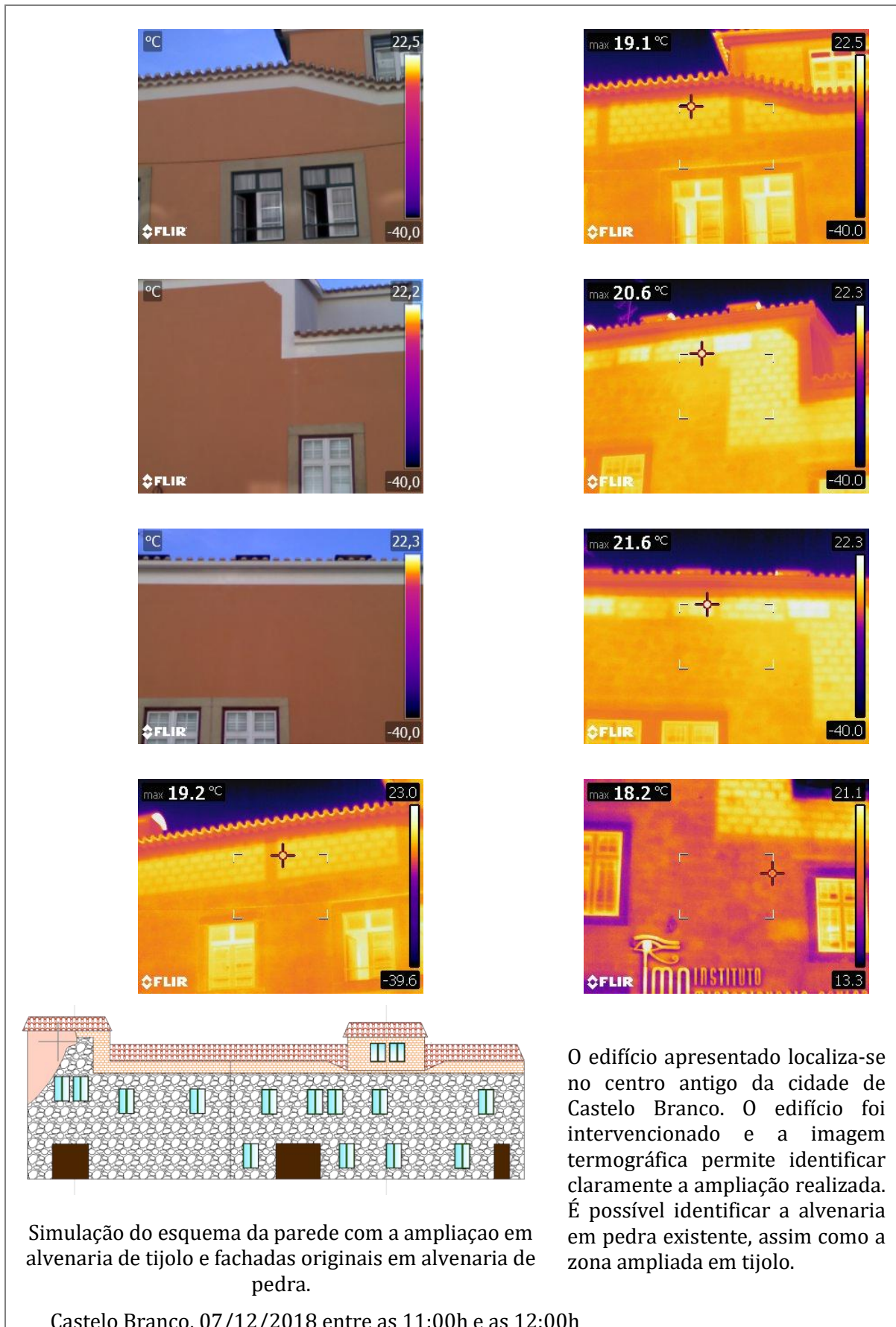
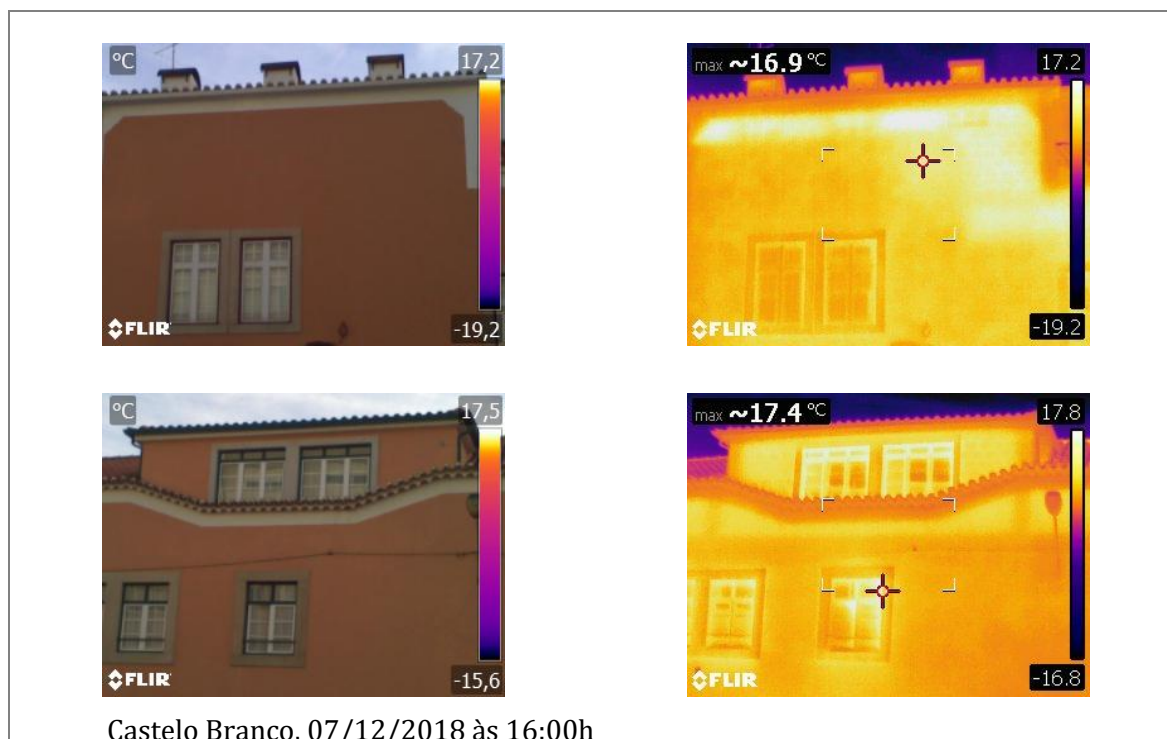


Tabela 8- Edifício da Santa Casa da Misericórdia, Rua Quinta Nova, Castelo Branco



Nestas imagens da tabela 8, temos o mesmo edifício fotografado a horas diferentes do dia, sendo de referir que os termogramas obtidos no horário 11:00h-12:00h são muito mais explícitos para uma análise qualitativa, sendo possível identificar muito mais facilmente os diferentes tipos de materiais utilizados na construção, a sua localização e geometria.

Segue-se a análise de um edifício representativo da construção corrente, possivelmente da década de 80 (Figura 12). A análise do termograma permite a identificação da solução construtiva do pano exterior da alvenaria (sendo que não é possível aferir a utilização de paredes simples ou duplas). A imagem exterior do edifício permite ainda a identificação da estrutura em betão armado, nomeadamente da laje e dos pilares no cunhal. É possível perceber a diferença na geometria entre o pilar do rés-do-chão e do 1º andar, assim como a interrupção do pilar a meio do 1º andar. Esta interrupção coincide com a existência de uma viga inclinada, com a mesma inclinação da cobertura.

A área A, em análise, foi assinalada na Tabela 9, na imagem que apresenta o edifício na globalidade. É possível perceber que o paralelismo entre a viga inclinada na parede do 1º andar e a cobertura. O termograma sugere ainda que a alvenaria em tijolo acima da vida inclina possui uma temperatura diferente do pano de tijolo abaixo. Se juntarmos esta informação com a descontinuidade do pilar, podemos deduzir que o pano acima seja realizado em tijolo maciço, enquanto o tijolo abaixo do pano apresenta tijolo furado.



Figura 12- Edifício, imagem original.

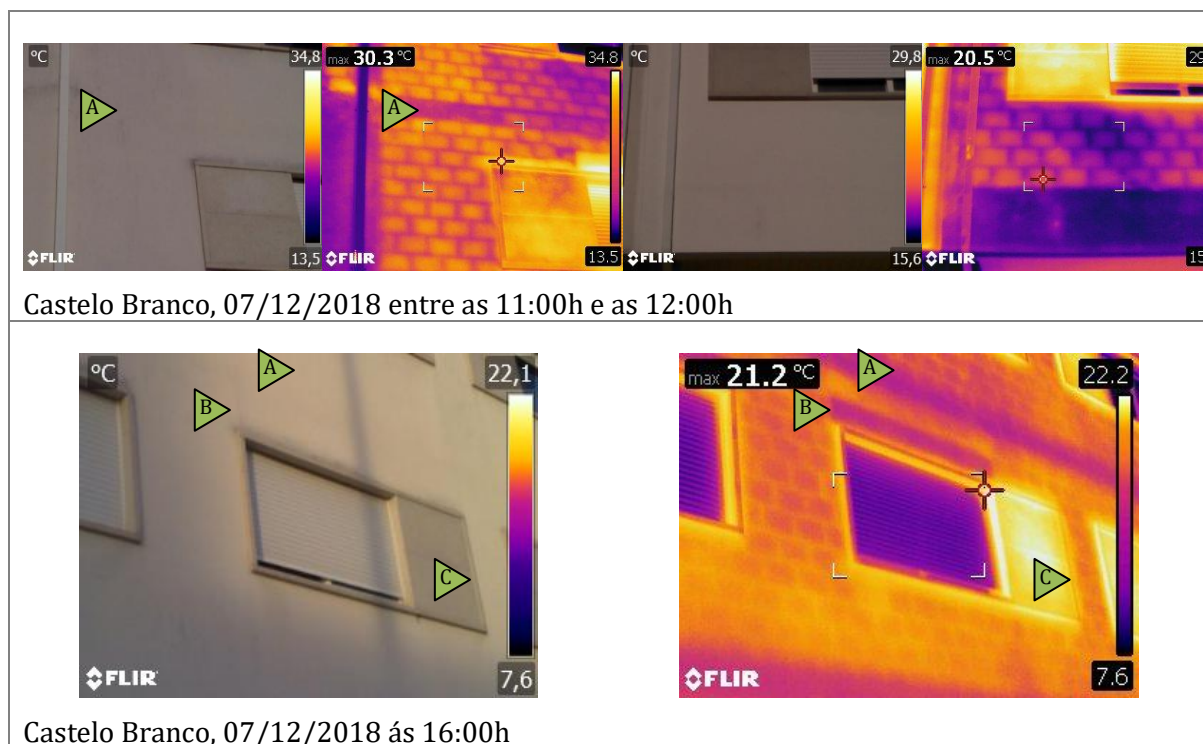
Tabela 9- Alteração de um edifício corrente

	<p>O termograma permite identificar claramente a laje em betão e a parede de alvenaria de tijolo. É ainda possível identificar o material empregue na guarda das varandas, com alvenaria de tijolo. O sombreamento de algumas áreas da imagem compromete a captação da radiação emitida, sendo que estas áreas aparecem com temperaturas inferiores.</p>

Outro aspeto interessante é a descontinuidade na varanda. É perceptível uma linha horizontal a meio do corpo saliente do edifício. Ao se analisar a imagem do edifício, apresentada na Figura 12, percebe-se que se trata de uma alteração ao existente, sendo que a guardar da varanda foi substituída por um pano de tijolo que permitiu o fechamento de uma parcela da mesma.

Como último exemplo temos um edifício representativo da construção corrente, possivelmente da década de 90.

Tabela 10- Caso de estudo - Castelo Branco (Habitação)



Nestas imagens, volta-se a constatar que os melhores resultados são obtidos nos termogramas captados no horário do 12:00h, ao invés dos captados no período após a exposição à radiação solar.

Estas imagens são representativas da edificação mais recente registada e é perfeitamente perceptível, em todas as imagens, os diferentes elementos estruturas do prédio, destacando-se uma das lajes intermédias do edifício (A), a zona da caixa de estore (B) e uma zona lateral da janela utilizada como elemento decorativo que possui um acabamento diferente (C). Também é possível identificar os tijolos e as juntas de argamassa que compõem o pano de alvenaria.

A evolução das câmaras de infravermelhos e a sua portabilidade são fatores importantes que facilitam a sua utilização. No entanto, importa referir a necessidade da correta interpretação dos termogramas, tendo em consideração das diferentes características dos materiais e as condições do ambiente exterior. Há que se considerar os fatores que intervêm na radiação infravermelha emitida pelo material, nomeadamente a radiação emitida pelo próprio material, pelos corpos adjacentes e refletida pela atmosfera. Estes fatores são definidos através dos parâmetros de emissividade, coeficiente de absorção e reflexão.

O trabalho de campo foi realizado com a premissa da termografia ativa, tendo o sol como fonte de radiação para aquecimento dos elementos analisados, tendo sido realizada uma análise visual dos termogramas. Há que se relacionar os termogramas com outros parâmetros relevantes na área da térmica dos edifícios, nomeadamente a densidade dos materiais e a sua inércia térmica.

## 3.2 Recolha de dados

### 3.2.1 Aspetos gerais

A utilização da termografia de infravermelhos já comprovou a sua eficácia em diversas áreas, nos edifícios e instalações industriais tem sido largamente utilizada ao nível dos equipamentos. No entanto, a captação de termogramas também permite a identificação dos elementos construtivos utilizados nos edifícios, tornando-se assim um aliado importante na inspeção de edifícios construídos, contribuindo para o processo de diagnóstico das soluções e materiais utilizados. Este diagnóstico torna-se determinante na escolha das estratégias de intervenção, compatibilizando materiais e técnicas.

O objetivo deste estudo é saber se a utilização da termografia pode ser um elemento para manutenção preventiva, permitindo além da identificação de elementos construtivos em edifícios existentes, a identificação de patologias associadas que alterem o comportamento térmico do elemento, sendo captado pela imagem termográfica.

Para levar a cabo esse objetivo foi utilizado como caso de estudo um edifício pertencente à Escola Superior de tecnologia de Castelo Branco, nomeadamente o edifício denominado de bloco “D”. Este edifício foi concluído em 1999 e é caracterizado por um acabamento pelo exterior em alheta, um material derivado da argila.

Começou-se por explorar as potencialidades que a máquina termográfica fornecia e o seu funcionamento.

Traçou-se um plano para perceber qual o comportamento térmico nas fachadas exteriores do edifício consoante a sua orientação e o horário das medições, dando-se algum ênfase a uma fachada localizada a sul pois existiam diferentes tipos de soluções construtivas ao nível de aplicação de isolamento térmico nas paredes de ré-do-chão e do 1º andar (intervencionada em 2015).

A experiência realizada consistiu em observar o funcionamento da transmissão térmica nas fachadas exteriores através do aquecimento destas, gerado pela incidência da radiação solar, e pelo seu arrefecimento que ocorria assim que a radiação solar deixava de incidir visto que a temperatura exterior era mais baixa que a do elemento.

Durante um período, tanto com a incidência da radiação solar como na sua ausência, foram captados termogramas espaçados por intervalos de tempo iguais em pontos previamente selecionados.

Os pontos foram selecionados tendo em conta zonas onde poderiam surgir diferentes elementos construtivos, como por exemplo, zonas de lajes, vão de janelas,

juntas de dilatação, zona de ligação entre laje térrea e fachada, laje intermédia e fachada, entre outros e com orientações diferentes.

Durante o período do ensaio e aquando da captação dos termogramas, foram registadas as temperaturas superficiais de ambas as faces da fachada, a temperatura ambiente do exterior e interior e a humidade relativa no exterior.

As conclusões deste ensaio resultam do cruzamento da informação dos termogramas com as medições registadas, de modo a conseguir perceber o comportamento térmico associado a este edifício e perceber se o conhecimento destas propriedades, obtidas com o recurso á termografia, pode ajudar à manutenção e conservação do edifício.

### 3.3. Identificação e caracterização do caso de estudo

Para entender as potencialidades e usos que poderá oferecer a termografia na inspeção ou manutenção de edifícios, procedeu-se a um estudo mais detalhado do que os casos retratados de forma qualitativa.

Este estudo foi realizado na Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco, pertencente ao Instituto Politécnico de Castelo Branco.

O objeto em estudo foi o edifício mais recente do conjunto de edifícios da escola, com um total de quatro edifícios, sendo que este é designado por “Bloco D”.



Figura 13- Bloco “D” em construção já com correção de pontes térmicas.

Este edifício foi concluído no ano de 1999 (Figura 13), sendo constituído por dois pisos: o rés-do-chão, que se encontra a duas cotas diferentes, uma mais baixa com os armazéns e laboratórios e uma segunda cota, mais alta, composta por gabinetes de docentes e secretariado. O piso 1 está todo á mesma cota e é composto por gabinetes dos docentes e salas de aulas (as plantas do edifício são apresentadas **no Anexo A**).

A estrutura do edifício foi toda executada em betão armado e as fachadas em tijolo, de parede dupla com caixa-de-ar. Houve correção simples das pontes térmicas nas vigas, pilares e topos das lajes com a aplicação de tijolo mais fino.

A Figura 14 apresenta a solução construtiva constante em projeto para as paredes exteriores, assim como a solução de correção das pontes térmicas adotada.

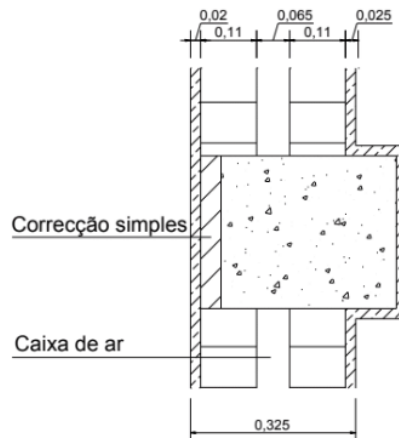


Figura 14 - Correção de pontes térmicas, solução de paredes exteriores.

A fachada é composta, a partir do interior, por uma camada de argamassa e reboco tradicional, tijolo de 11cm, caixa-de-ar, tijolo de 11 e uma argamassa de colagem para aplicação de um revestimento exterior de base argilosa.

O revestimento exterior é em alheta, um derivado da argila.

No que toca á estrutura das lajes vamos encontrar no edificio dois tipos, a laje térrea que é maciça constituída por 20 cm de betão e a laje intermédia e de cobertura que são aligeiradas constituídas por um vigamento de pré-esforçado, abobadilhas e uma betonilha.

Na laje de cobertura o revestimento exterior são placas de fibrocimento.

Para o estudo, devido á importância da incidência do sol, foi necessário ter em conta as orientações de cada fachada, na Tabela 15 estão esquematizadas as várias orientações do edifício e uma ilustração de cada uma.

Orientação das fachadas do edifício			
<b>Fachada NORTE</b>	<b>Fachada OESTE</b>	<b>Fachada SUL</b>	<b>Fachada ESTE</b>

Figura 15- Fachadas do edifício com a indicação da orientação solar.

Em janeiro de 2004, o edifício foi alvo de um estudo de diagnóstico, no qual foi realizado um levantamento de patologias com a descrição, localização e estado de gravidade das mesmas.

À data do relatório, e para efeitos do auto de entrega da obra, foi constatada a necessidade de obras de conservação, grande parte do edifício apresentava patologias ligadas às humidades, sendo que em alguns casos eram mais graves e mais visíveis os danos, nomeadamente nas paredes interiores que estavam em contacto com o exterior, nos tetos do piso 1 e na laje térrea de cota inferior do piso0, mais concretamente na zona dos laboratórios.

Nas fachadas interiores o mais visível e mais grave eram fissuras nas fachadas exteriores, problema que ainda hoje persiste, o destacamento do material de revestimento e também fissuras na platibanda da cobertura.

Na Tabela 11 estão identificadas algumas das patologias encontradas e o seu registo fotográfico.

Tabela 11 - Exemplos de patologias identificadas no relatório de 2004 (Ramos, 2004).



Ao longo dos anos este edifício foi intervencionado com obras de conservação e reparação no seu interior para corrigir as várias situações anómalas que aí existiam.

As paredes interiores foram lavadas, tendo sido reparadas as fissuras e realizado o acabamento final através de pintura.

Houve também a intervenção em 2015, apenas numa parede de uma divisão com a colocação de isolamento pelo interior (numa fachada em contacto com o exterior), que será descrita. Esta parte da envolvente será alvo de estudo em relação á sua capacidade de transmissão de calor em comparação com a outra parte da fachada, sem isolamento, sendo que esta alteração possibilitou o estudo de dois tipos

diferentes de constituição de parede na mesma fachada (com a mesma orientação e características).

A solução referida foi implementada na fachada SUL, na parede exterior de uma sala de estudo localizada no piso 1, identificada em planta e alçado na Figura 16 (cor vermelha). É de se referir que esta parede possuía um nível de degradação interior superior às demais, nomeadamente com a presença de humidades de infiltração e condensações. Estes fenómenos podem ter sido agravados pela existência de fissuração no pano exterior, pela orientação da mesma, o que a sujeita a oscilações térmicas muito superiores, assim como à diferença de exposição aos ventos e chuva, também em relação ao piso inferior que não apresentava o mesmo nível de degradação.

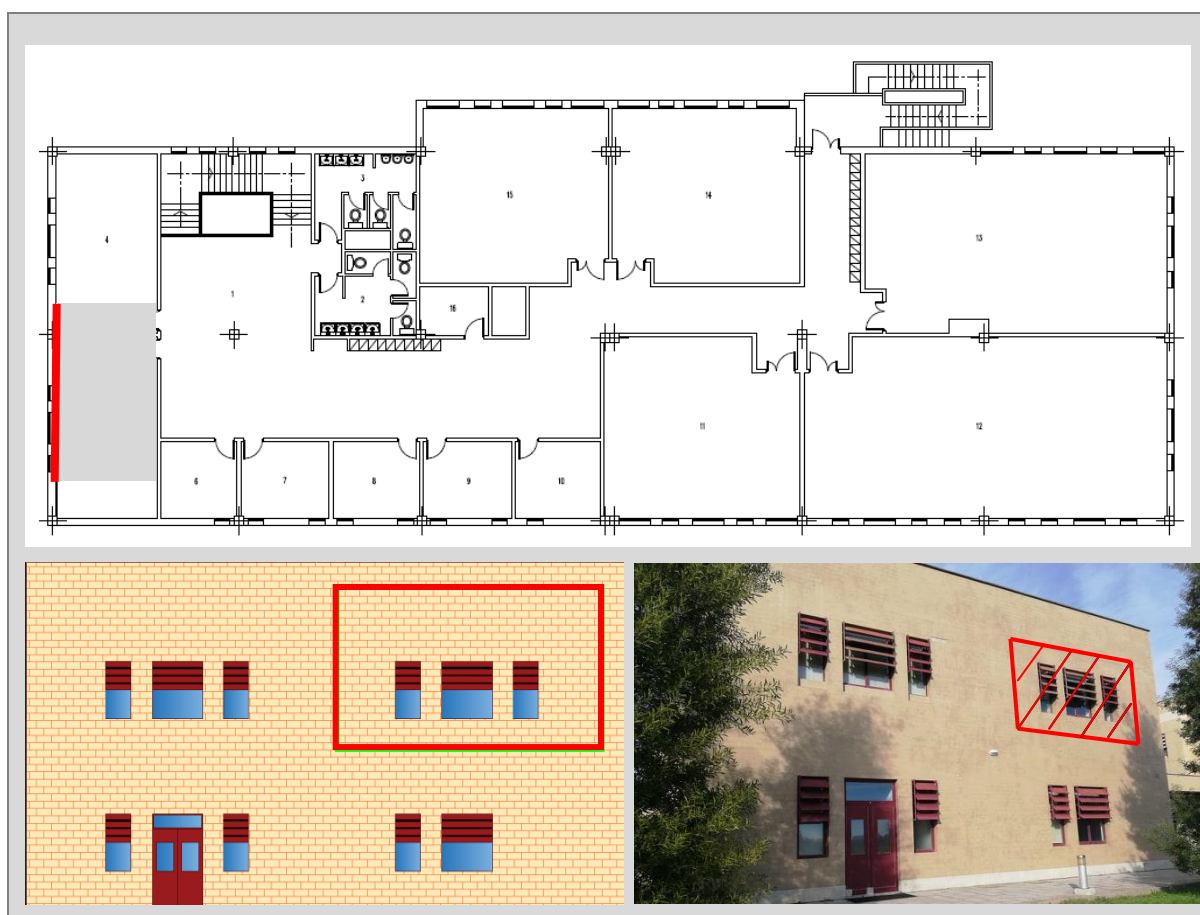


Figura 16- Identificação da parede intervencionada em alçado e em planta Piso 1.

Esta parede, no seu interior, apresentava bolores e humidades, tendo sido necessária a aplicação de uma solução de isolamento pelo interior. Assim, foi aplicada uma estrutura metálica que, para além de ser suporte para a aplicação de uma placa composta por gesso cartonado e uma camada de aglomerado de cortiça expandida, permitiu a existência de uma caixa-de-ar entre o elemento existente e a solução adotada.

A estas placas, denominadas “Gypcork” estão ilustradas na Figura 17 e são produzidas pela empresa Gyptec Iberica. A placa aplicada possuía 4 cm de aglomerado de cortiça e cerca de 1,5cm de gesso cartonado. Posteriormente foi realizado o remate das juntas e a sua pintura.



Figura 17 - Ilustração da placa “Gypcork” (Gyptec,2019).

### 3.3.1. Metodologia utilizada para a captação de imagens termográficas

A captação de imagens foi obtida por um processo de termografia passiva onde foi utilizada como fonte de calor a incidência de radiação solar, sendo esta a fonte de energia para aquecer o objeto, neste caso o edifício.

Será observado o efeito produzido pelo aquecimento das fachadas e pelo seu arrefecimento, recorrendo-se à metodologia qualitativa e quantitativa de análise.

Irá ser observada a termografia do edifício durante diferentes períodos do dia na sentido de se perceber qual o horário mais propício para se obter melhores resultados com esta ferramenta.

O objetivo do trabalho é aferir sobre as potencialidades da termografia no domínio da construção civil, perceber se pode ser um contributo para análise de edifícios, nomeadamente em inspeções, avaliação de estados de conservação e possível identificação de patologias.

Foi selecionado o edifício já caracterizado, por razões de funcionalidade, e para que o equipamento não necessitasse de estar a ser constantemente transportado, optando-se assim pela análise de um edifício da própria escola.

Serão registadas algumas medições feitas no local e no momento da captação da imagem, de modo a se conseguir aferir os resultados no programa utilizado para a análise dos termogramas, comparando-se os valores captados com os valores medidos “in situ”.

Os registos das medições dos seguintes parâmetros serão conseguidos com recurso a algum equipamento como se indica:

1. Aplicação de termopares ligados ao *datalogger* que terá a função de registar todas as medições em intervalos de tempo definidos pelo utilizador, durante o período de tempo que for necessário para concluir o ensaio.
2. Um termopar a medir a temperatura superficial exterior, esta pode ser influenciada por vários agentes exteriores, por isso foi devidamente isolado (Figura 20).
3. Um segundo termopar a medir a temperatura superficial interior (num dos ensaios foi ainda colocado um termopar na caixa de ar da parede);
4. O *datalogger* para além de registar as medições dos termopares tem também, por defeito, a capacidade de registar a temperatura ambiente onde ele está inserido, neste caso será esta a temperatura ambiente interior.
5. Com o auxílio de um Termohigrómetro, serão medidas a temperatura ambiente e humidade relativa no exterior.

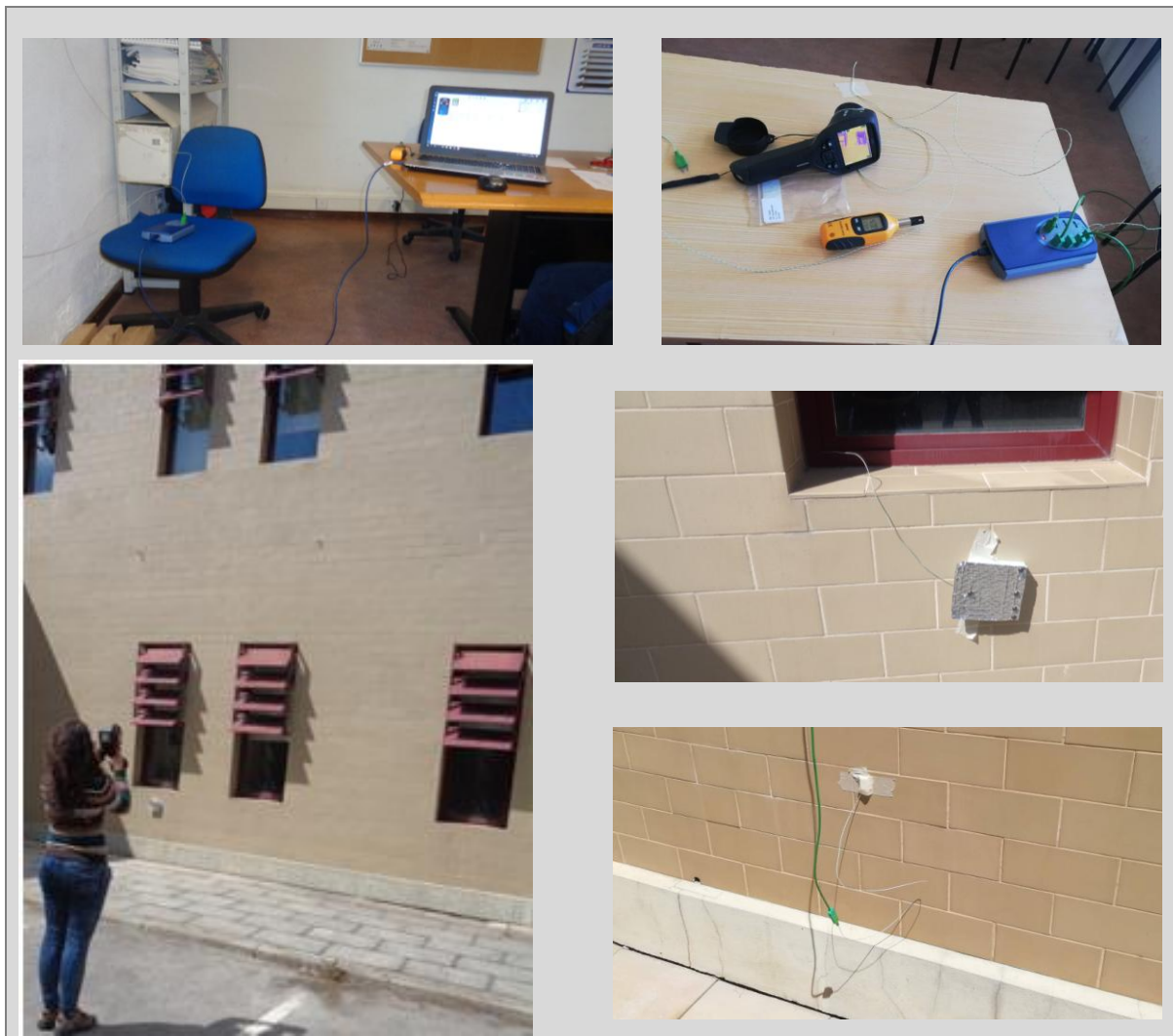


Figura 18- Fotografias captadas durante o ensaio aos vários equipamentos.

Para que houvesse homogeneidade no processo de registo das imagens, que ocorreram ao longo do dia e de vários dias, estabeleceu-se o seguinte procedimento:

- ✓ Definir a zona de medição e tentar captar sempre a mesma zona ao longo das diversas medições;
- ✓ Verificar a ocorrência ou não de incidência solar na zona da medição (ação direta, indireta do sol ou sombra);
- ✓ Nunca se efetuaram registos em dias de chuva, uma das premissas era a existência de sol para aquecer a fachada;
- ✓ Registo do dia e hora referente a cada medição (os termogramas foram enumerados para a respetiva identificação).

### 3.3.2. Equipamento utilizado

Foi utilizada no ensaio uma **câmara termográfica** da “FLIR” - modelo E60. A Figura 18 apresenta imagens do equipamento, sendo que a imagem 18b) apresenta o equipamento em si e a 18c) o visor com informações sobre a temperatura mais alta e mais baixa na imagem, o menu onde se pode selecionar a emissividade do material, a gradação de cores que queremos usar, o modo da fotografia, entre outros.



Figura 19-Câmara termográfica- Modelo E60

Os **termopares** que são sensores de temperatura simples. São constituídos por dois metais distintos unidos em uma das extremidades e formam um circuito. Este

equipamento gera uma força eletromotriz ao ser conectado a um aparelho de leitura para obter a temperatura do elemento com o qual está em contacto.

Os termopares utilizados são do tipo k, das marcas *Pico technology* e *Farnell*. Também foram usadas algumas extensões para conseguirmos chegar com os termopares a todos os pontos necessários.

O aparelho de leitura da temperatura registada pelos termopares utilizado foi o **datalogger**, modelo TC-08 da marca *Pico technology*.

E finalmente o **termohigrómetro**, um aparelho que permite a medição da humidade relativa do ambiente e da temperatura absoluta em várias unidades. A Figura 20 apresenta todos os equipamentos referidos.



Figura 20- Instrumentos utilizados no ensaio.

### 3.3.2.1. Calibração dos termopares

Foram feitas medições a fim de perceber as correções que deveriam ser feitas pela utilização dos termopares de fabricantes distintos e de extensões, necessárias devido à distância de alguns pontos medidos e à localização do datalogger.

Foi feito o teste com as seguintes ligações: termopar *Pico* (canal 1), 3 termopares *Farnell* (canal 2, 4, 5), 2 termopares *Pico* com extensão (canal 3 e 6). As medições foram realizadas numa sala fechada, durante uma hora, registando-se as variações em intervalos de 5 minutos. Os resultados obtidos das medições estão registados na Tabela 12.

Tabela 12- Medições em °C efetuadas aquando o teste.

Leituras						
Intervalo	Pico	Novo	Ext1+Pico	Novo	Novo	Ext2+Pico
	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4	Channel 5	Channel 6
5min	25,06	26,45	24,99	26,52	26,55	24,92
10min	25,44	26,03	25,27	26,18	26,20	25,16
15min	25,68	26,05	25,55	26,24	26,23	25,50
20min	25,80	26,23	25,65	26,47	26,42	25,64
25min	25,88	26,41	25,70	26,70	26,62	25,69
30min	25,94	26,56	25,75	26,87	26,76	25,75
35min	25,97	26,68	25,77	27,03	26,85	25,79
40min	26,08	26,74	25,88	27,07	26,96	25,88
45min	26,12	26,83	25,91	27,17	27,02	25,92
50min	26,17	26,92	25,95	27,28	27,08	25,97
55min	26,21	27,01	25,99	27,36	27,13	26,02
60min	26,33	27,22	26,11	27,55	27,35	26,16
Média	25,89	26,59	25,71	26,87	26,76	25,70

A Tabela 13 apresenta a análise das variações registadas nos termopares Farnell, visto que foram adquiridos posteriormente e ser necessário comparar o seu registo com o do termopar *Pico*. A Tabela 14 apresenta os resultados finais da variação registada entre os termopares *Farnell* e o *Pico*, assim como as variações introduzidas pela utilização de extensões nos termopares *Pico*.

Tabela 13- Variação registada entre os termopares *Farnell* e o *Pico*.

Intervalo	Novo	Novo	Novo	Variação		
	Channel 2	Channel 4	Channel 5	2/4	2/5	4/5
5min	26,45	26,52	26,55	1,003	1,004	1,001
10min	26,03	26,18	26,20	1,006	1,007	1,001
15min	26,05	26,24	26,23	1,007	1,007	1,000
20min	26,23	26,47	26,42	1,009	1,007	0,998
25min	26,41	26,70	26,62	1,011	1,008	0,997
30min	26,56	26,87	26,76	1,012	1,008	0,996
35min	26,68	27,03	26,85	1,013	1,006	0,993
40min	26,74	27,07	26,96	1,012	1,008	0,996
45min	26,83	27,17	27,02	1,013	1,007	0,994
50min	26,92	27,28	27,08	1,013	1,006	0,993
55min	27,01	27,36	27,13	1,013	1,004	0,992
60min	27,22	27,55	27,35	1,012	1,005	0,993
Média	26,59	26,87	26,76	1,010	1,006	0,996

Tabela 14- Média de valores de temperatura obtidos em °C e fator de correção final.

Variação	Pico	Média Ext+Pico	Variação	Variação	Pico	Média Novo	Variação
5min	25,06	24,96	0,996	5min	25,06	26,51	1,058
10min	25,44	25,22	0,991	10min	25,44	26,14	1,027
15min	25,68	25,53	0,994	15min	25,68	26,17	1,019
20min	25,80	25,65	0,994	20min	25,80	26,37	1,022
25min	25,88	25,70	0,993	25min	25,88	26,58	1,027
30min	25,94	25,75	0,993	30min	25,94	26,73	1,030
35min	25,97	25,78	0,993	35min	25,97	26,85	1,034
40min	26,08	25,88	0,992	40min	26,08	26,92	1,032
45min	26,12	25,92	0,992	45min	26,12	27,01	1,034
50min	26,17	25,96	0,992	50min	26,17	27,09	1,035
55min	26,21	26,01	0,992	55min	26,21	27,17	1,037
60min	26,33	26,14	0,993	60min	26,33	27,37	1,040
Correção com uso de extensão			0,993	Correção para uso Novo			1,033
			0,007				-0,033

Das medições realizadas verificou-se que o erro obtido com a utilização dos termopares *Farnell* seria de  $-0,033^{\circ}\text{C}$  e, para a utilização dos termopares com as extensões, existe uma diferença média de  $0,007^{\circ}\text{C}$ . Considerando o fato de serem valores baixo, com uma variação de cerca de  $-0,03^{\circ}\text{C}$  entre termopares e de  $0,007^{\circ}\text{C}$  se aplicada a extensão, entendeu-se desnecessário realizar a correção.

### 3.3.3. Análise das imagens com ResearchIR

Será utilizado o programa informático “ResearchIR” da marca *FLIR*, a mesma do equipamento, onde serão analisadas as imagens e inseridos os valores da temperatura exterior ambiente, da humidade relativa e emissividade dos materiais.

O programa informático “*ResearchIR*” pode ser conectado diretamente às câmaras para importar imagens ou vídeos, sendo possível realizar a análise da imagem em tempo real. O programa possui diversas ferramentas de medida como pontos, linhas e áreas (estas estão assinaladas na Figura 21a). Permite ainda gerar gráficos e outros recursos de análise incluindo o perfil das linhas, histogramas ou gráficos, para todos as ferramentas de medida.

A Figura 21 apresenta o exemplo de uma análise recorrendo-se à definição de uma linha, para a qual é gerado o gráfico de variação da temperatura.

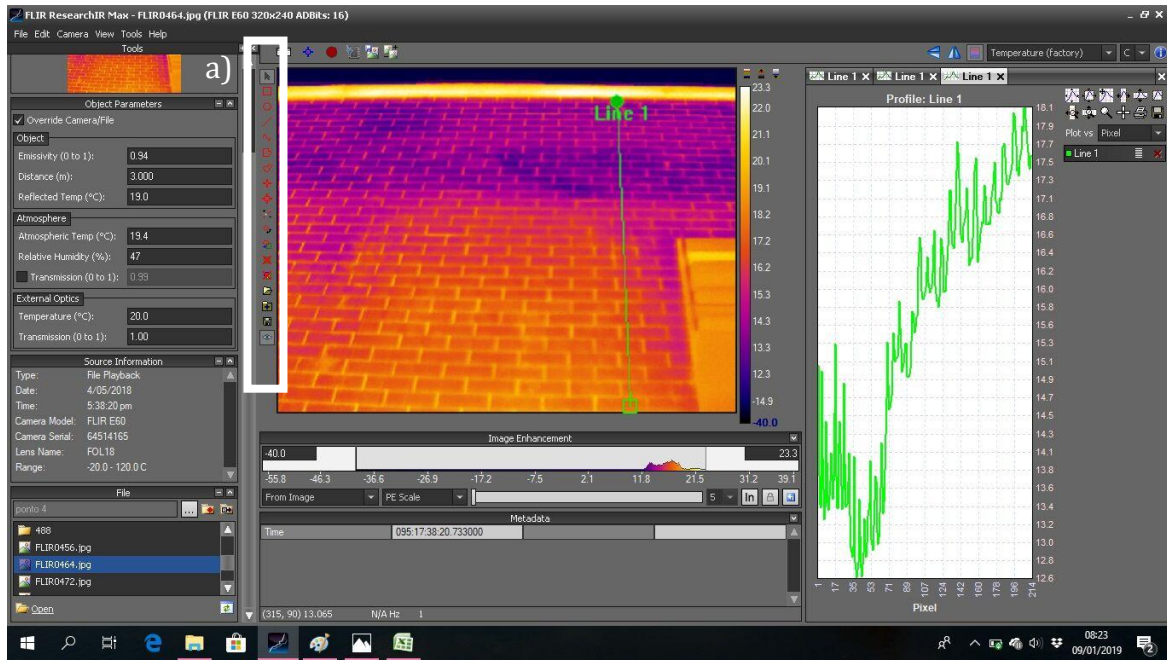


Figura 21 - Exemplo de análise com recurso ao perfil de uma linha.

## 4. Imagens termográficas- dados recolhidos e análise de resultados

### 4.1. Generalidades

Nos pontos seguintes serão apresentadas as imagens termográficas e dados registados em relação à temperatura e humidade, recolhidos durante os ensaios nos diferentes dias e com tempos de medição diferenciados. Na Tabela 15 encontra-se uma breve identificação dos ensaios, com a apresentação de algumas especificações como a data, os intervalos de medição, a orientação da fachada e o número de zonas analisadas (nas quais foram captados termogramas).

Tabela 15- Identificação de ensaios

Período	Data	Intervalos de medição	Fachada	N.º zonas analisadas
<b>Ensaio 1</b>	05/04/2018	30 Minutos	Sul	8
<b>Ensaio 2</b>	14/04/2018	20 Minutos	Este	13
<b>Ensaio 3</b>	19/04/2018	15 Minutos	Oeste	9
<b>Ensaio 4</b>	20/07/2019	15 Minutos	Sul	2
<b>Ensaio 5</b>	25/07/2019	15 Minutos	Sul	1

Para efeitos de análise das imagens no programa informático foram sempre inseridos os seguintes parâmetros apresentados na Figura 22:

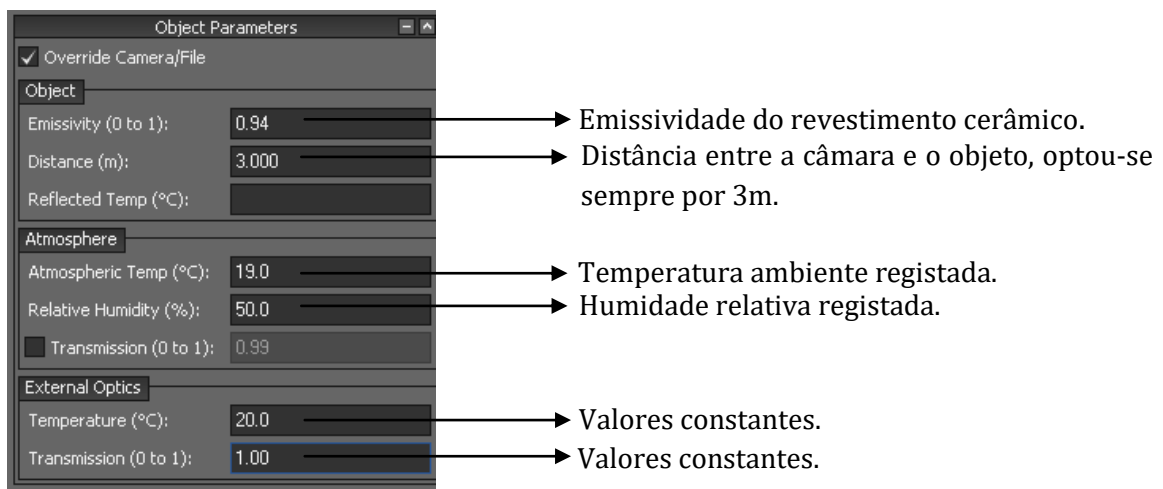


Figura 22-Parâmetros do ensaio.

Em anexo serão apresentados detalhadamente todos os ensaios realizados, com a descrição do modo e características da sua realização, registo das temperaturas medidas e apresentação de todos os termogramas captados.

Neste capítulo serão exploradas as zonas que se mostraram com mais interesse para análise neste tema de trabalho.

## 4.2. Análise da Fachada Sul

### 4.2.1. Zonas analisadas a Sul

A recolha de dados decorreu no exterior e no interior do edifício, embora distintas para cada zona analisada, sendo que todas as imagens recolhidas se encontram no Anexo B.

Esta recolha foi dividida em duas fases, sendo que numa primeira, realizada no dia 5 de abril de 2018, foram delimitadas as oito zonas apresentadas no esquema ilustrativo da Figura 23, que foram definidas no sentido de permitir analisar zonas de ligação entre elementos construtivos diferentes.

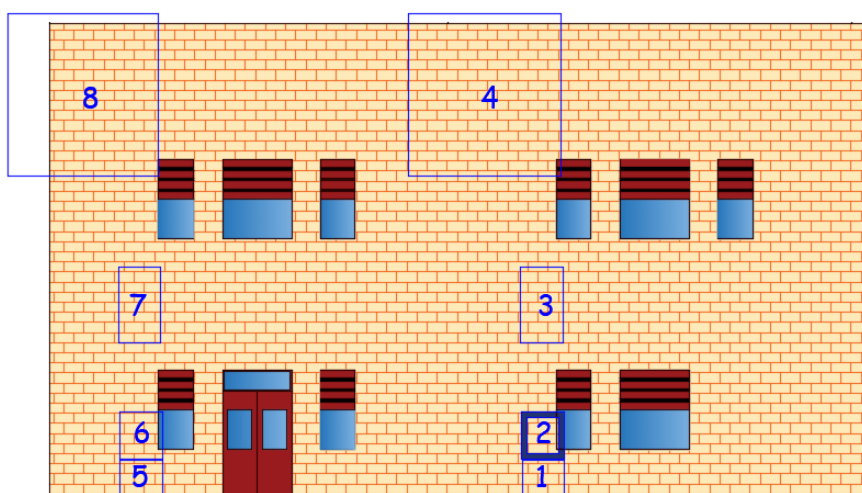


Figura 23- Localização dos termogramas (fachada orientada para sul).

Embora tenham sido captados termogramas em todas as zonas, não foram efetuadas medições em todas elas, mantendo-se os termopares na zona 2. Neste sentido, desta fase, somente será analisada a zona 2 que se apresenta no ponto seguinte.

Numa segunda fase, na qual as medições se realizaram no dia 20 de julho de 2019, foram definidas duas zonas diferenciadas das anteriores, onde foram localizados os termopares. A definição das zonas teve em atenção o posicionamento dos termopares

em todos os elementos construtivos, mantendo-se o princípio de análise de elementos de ligação, além de soluções construtivas diferenciadas (nomeadamente a solução de parede do piso 0 e piso 1). A análise destas duas zonas, identificadas como zona 31 e 32 serão apresentadas nos pontos seguintes, estando identificadas na Figura 24.

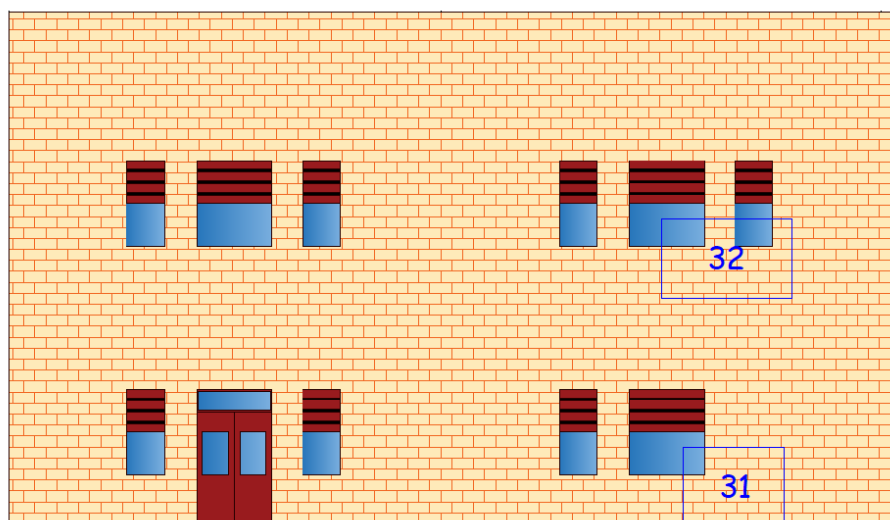


Figura 24- Localização dos termogramas (fachada orientada para sul).

#### 4.2.2. Fachada Sul - Zona 2

As medições de temperaturas superficiais foram obtidas pelos termopares, posicionados no exterior e interior, que se colocaram na zona 2 e nunca foram movimentados durante todo o ensaio.

A captação das imagens teve início por volta das 18:00h, após a incidência da radiação solar no elemento, analisando-se assim o seu arrefecimento.

Na Tabela 16 são comparados os valores de temperatura, medidos com os termopares, e valores obtidos através de análise das imagens termográficas e com recurso ao programa informático.

A termografia capta a radiação dos objetos e transforma essa energia em temperatura, nos termogramas captados vai fazer-se uma analogia entre as medições registadas no local e as temperaturas obtidas pelo programa "ResearchIR".

No programa informático, foram determinadas temperaturas médias numa área e numa linha horizontal, junto à zona onde foi colocado o termopar. Esta análise foi feita de igual maneira para todos os termogramas captados em intervalos regulares, utilizando a mesma posição para a linha e área.

Tabela 16- Resultados obtidos pela análise da zona 2.

Imagem original		Imagem térmica			
18:08h			Medições	$\theta_e$	22,05°C
				HRe	44,35%
				$\theta_{se}$	28,24°C
			Termografia	Tmédia "Linha a)"	26,70°C
Tmédia "Area a)"	26,30°C				
18:38h			Medições	$\theta_e$	19,40°C
				HRe	47,00%
				$\theta_{se}$	26,50°C
			Termografia	Tmédia "Linha a)"	25,10°C
Tmédia "Area a)"	24,60°C				
19:08h			Medições	$\theta_e$	18,50°C
				HRe	47,70%
				$\theta_{se}$	25,30°C
			Termografia	Tmédia "Linha a)"	23,80°C
Tmédia "Area a)"	23,30°C				
19:38h			Medições	$\theta_e$	18,00°C
				HRe	52,00%
				$\theta_{se}$	24,40°C
			Termografia	Tmédia "Linha a)"	22,10°C
Tmédia "Area a)"	21,90°C				
20:08h			Medições	$\theta_e$	17,20°C
				HRe	55,80%
				$\theta_{se}$	23,90°C
			Termografia	Tmédia "Linha a)"	20,80°C
Tmédia "Area a)"	21,20°C				
<p>Legenda:</p> <p>Hre- Humidade relativa</p> <p><math>\theta_e</math>- Temperatura ambiente exterior</p> <p><math>\theta_{se}</math>- Temperatura superficial exterior</p> <p>Tmédia - Temperatura média</p>					

A utilização da linha permite obter temperaturas médias ao longo de todo o elemento, com materiais de revestimento diferenciados, a área permite uma temperatura média junto ao termopar para aferir a medição realizada.

A análise será realizada de acordo com dois princípios, a variação da temperatura ao longo do tempo, e a variação da temperatura em função da densidade do material.

### a) Zona 2 - Análise da temperatura em função do tempo

Recorrendo-se às medições realizadas, a Figura 25 apresenta a variação das temperaturas ao longo do tempo, tendo em consideração os intervalos de 30 minutos utilizados.

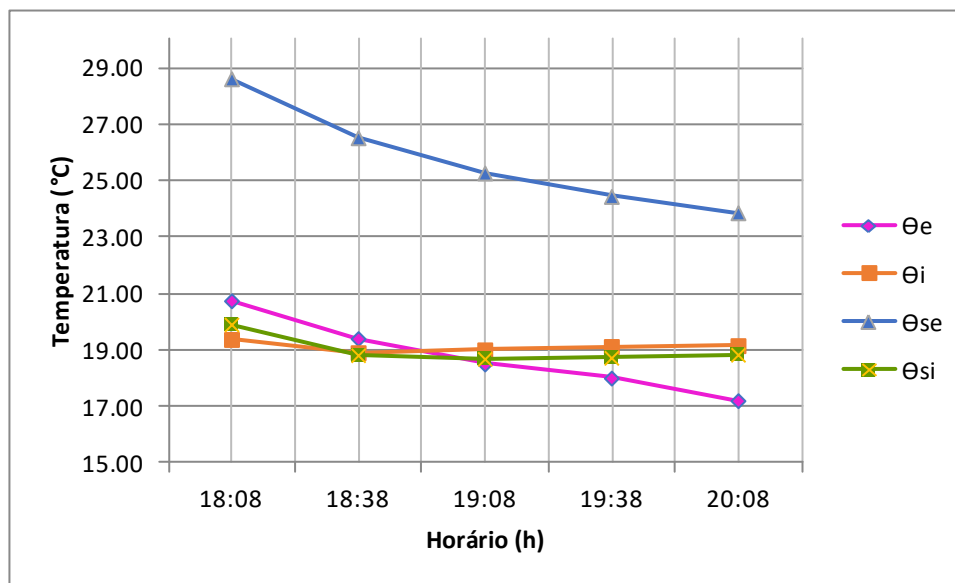


Figura 25-Temperaturas medidas “in situ” (Zona 2 - 5/04/2018).

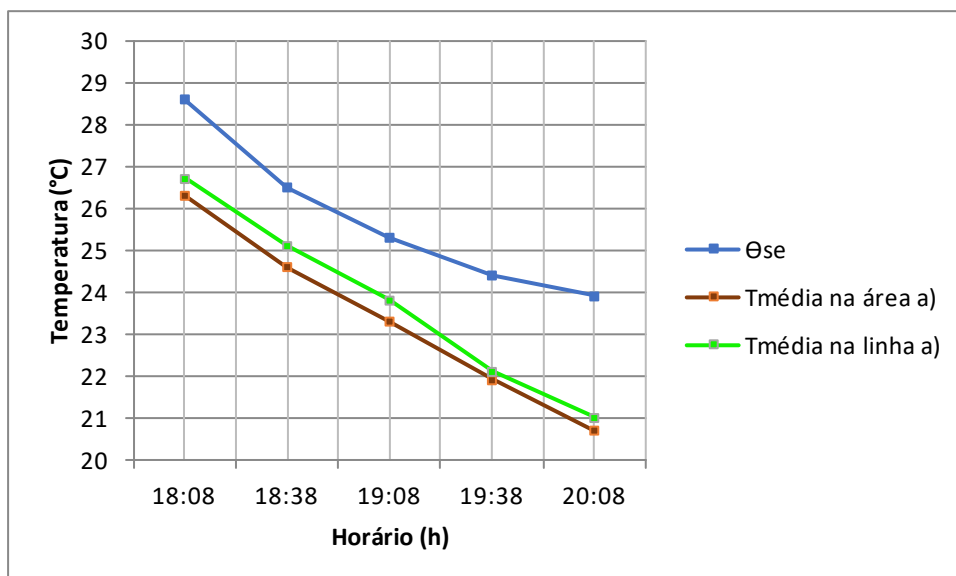


Figura 26- Temperatura superficial exterior: termografia e medições (Zona 2 - 5/04/2018).

Na Figura 26 está representada a evolução, ao longo dos vários intervalos de tempo, da temperatura superficial regista com recurso aos termopares (linha azul) e com recurso aos termogramas captados utilizando o programa informático (linha verde e castanha).

Os valores evoluem de igual forma, e é possível perceber o aumento da diferença, com o passar do tempo e com o arrefecimento da parede, entre os valores obtidos pela medição no local e pelo termograma.

De referir que durante a exposição solar, o local onde estavam a ser registadas as temperaturas no termopar, e para que não houvesse influência da radiação solar, foi protegido com 4 cm de poliestireno extrudido á volta do termopar e sobre ele um isolamento de alumínio como mostra a Figura27.



Figura 27-Isolamento colocado sobre o termopar.

A colocação do isolamento sobre o termopar pode ter contribuído para o aumento da diferença entre ambos os modos de medição pois a zona onde se colocou o isolamento não estava a ser aquecida diretamente pela radiação solar ao contrário do resto da fachada, assim como não arrefece da mesma forma devido ao reforço do isolamento térmico.

Tabela 17-Diferença entre temperaturas obtidas pelo termopar e pelo termograma.

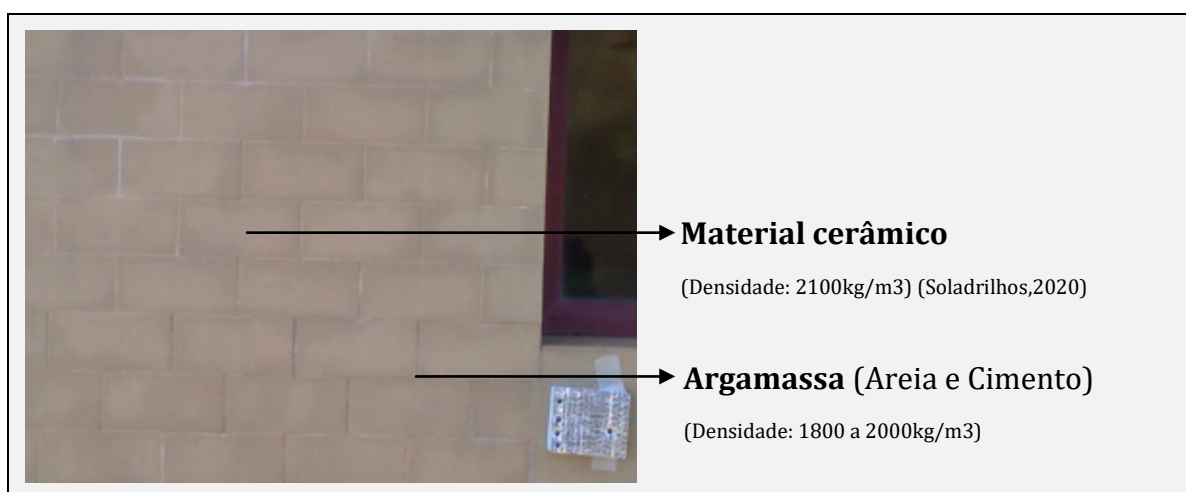
<b>Temperatura superficial no termopar</b>	28,24°C	26,50°C	25,30°C	24,40°C	23,90°C
<b>Média entre valor obtido pela linha e pela área no termograma</b>	26,50°C	24,85°C	23,55°C	22,00°C	21,00°C
<b>Diferença</b>	1,74°C	1,65°C	1,75°C	2,40°C	2,90°C

Em média, o valor de diferença entre os modos de medição da temperatura ronda os 2°C. À medida a parede arrefece a diferença de temperatura entre os diferentes modos de medição aumenta, o que se pode justificar pela presença do isolamento que se colocou para proteger o termopar de agentes exteriores.

### b) Análise da temperatura em função da densidade

A densidade é uma propriedade específica de cada material, e condiciona a forma como o objeto absorve, armazena e liberta energia. Neste ponto vai-se relacionar as diferentes densidades dos vários **materiais do revestimento superficial** presentes no termograma (argamassa e material cerâmico).

Vai-se avaliar o comportamento dos diferentes elementos expostos às mesmas condições.

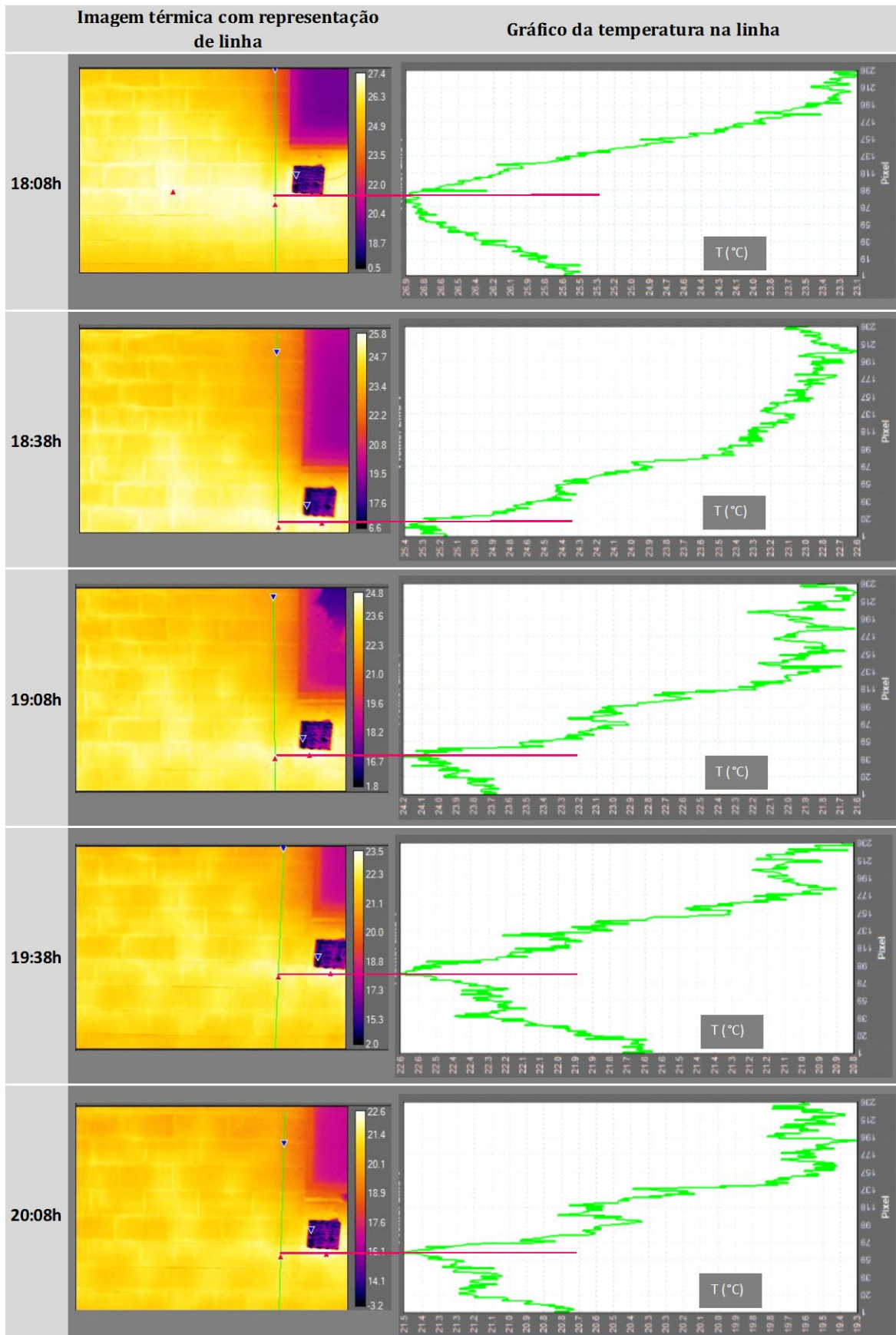


Na termografia os conceitos de absorção, armazenamento e libertação da energia nas materiais é muito importante, são eles que influenciam o modo como o fluxo de calor funciona.

No sentido de avaliar a influência da densidade do material na termografia fez se um estudo comparando o comportamento da argamassa e do material cerâmico.

Numa primeira fase traçou-se uma linha na vertical nos vários termogramas da zona 2, essa linha atravessa o azulejo e a argamassa, com recurso ao programa informático realizou-se para cada linha um gráfico com as temperaturas ao longo da mesma o resultado apresenta-se na Tabela 18.

Tabela 18-Relação da temperatura com a densidade na zona 2.



Foi inserida, entre a imagem e o gráfico das temperaturas, uma linha horizontal para identificar o local do termograma que coincide com um pico de temperatura no gráfico. Constatou-se que, em todos os termogramas, o pico máximo de temperatura, coincide com uma mancha da zona que se destaca na imagem como uma área mais quente (com a cor amarelo muito claro). Para saber ao certo o que poderia originar esta alteração seria necessário um estudo mais profundo, no entanto pode-se admitir que estamos perante uma anomalia, sendo que é possível verificar nas imagens originais (Figura 25) que neste local a junta está esbranquiçada o que indica a presença de sais que migraram até à superfície, uma ocorrência que normalmente se desenvolve devido à presença de água. Assim, poderá haver alguma infiltração no revestimento, o que provoca a migração de sais e poderá estar a comprometer a aderência do revestimento à alvenaria de tijolo, criando-se assim alguma alteração no comportamento térmico desta zona (neste caso provocando um maior aquecimento do revestimento que não está em contato direto com a alvenaria).

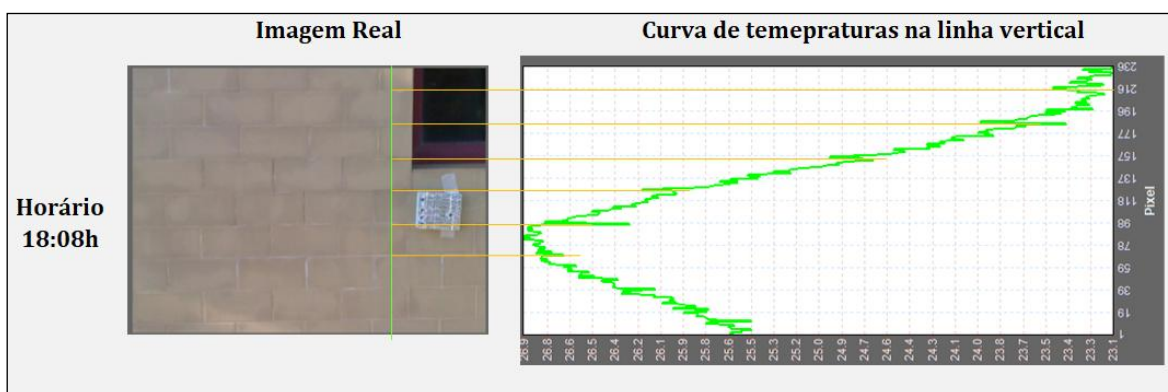


Figura 28-Excerto da tabela 18 (Zona 2), representação dos pontos que coincidem com as juntas de argamassa.

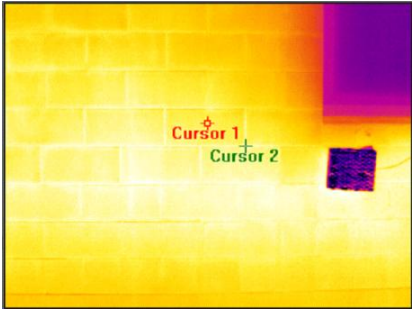
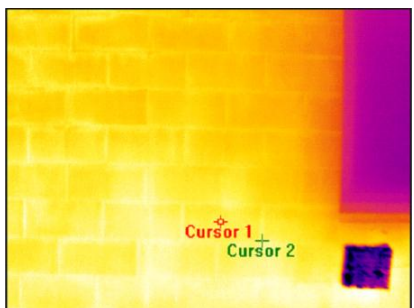
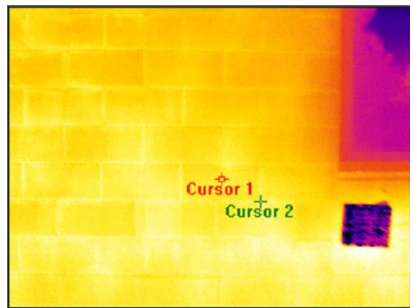
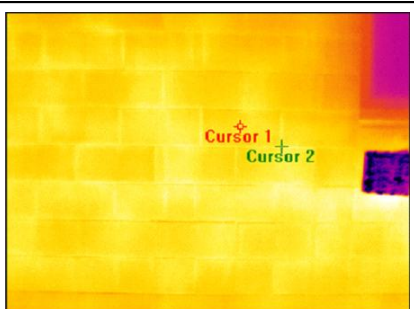
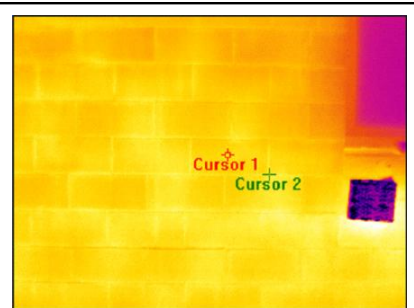
É ainda perceptível, acerca da área mais quente no centro do termograma (zona amarelo muito claro), que com o passar do tempo a mancha vai atenuando, e no último termograma já não é possível identificá-la. Este pormenor poderá estar relacionado com o facto de, no início do ensaio, as temperaturas captadas serem referentes ao revestimento e, nomeadamente no último termograma, já estarem relacionadas com a alvenaria de tijolo (sendo possível identificar os tijolos).

Com a análise dos gráficos, conforme a Figura 25, fica também clara a diferença de temperaturas entre as juntas e os azulejos - no local das juntas o gráfico mostra temperaturas superiores.

Numa segunda fase, no sentido de se realizar uma análise quantitativa, com o programa informático, foi selecionado um ponto no azulejo e na argamassa, e foi registado o valor da temperatura em ambos (nos diferentes termogramas captados e nos diferentes intervalos).

Os valores obtidos nesta fase estão registados na Tabela 19 e são referentes à zona 2. A partir destes irá analisar-se a evolução das temperaturas nos diferentes materiais ao longo dos vários intervalos de tempo e durante o seu arrefecimento.

Tabela 19-Medição num ponto na argamassa e no azulejo.

Horário	Termograma com representação de pontos de medição através do programa informático	
18:08h		Temperatura no material cerâmico (Cursor 1) <b>26,40°C</b>  Temperatura na argamassa (Cursor 2) <b>26,80°C</b>
18:38h		Temperatura no material cerâmico (Cursor 1) <b>24,80°C</b>  Temperatura na argamassa (Cursor 2) <b>25,00°C</b>
19:08h		Temperatura no material cerâmico (Cursor 1) <b>23,40°C</b>  Temperatura na argamassa (Cursor 2) <b>23,70°C</b>
19:38h		Temperatura no material cerâmico (Cursor 1) <b>22,00°C</b>  Temperatura na argamassa (Cursor 2) <b>22,20°C</b>
20:08h		Temperatura no material cerâmico (Cursor 1) <b>20,90°C</b>  Temperatura na argamassa (Cursor 2) <b>20,90°C</b>

A partir dos resultados obtidos da tabela 19 resultou o gráfico da figura 29.

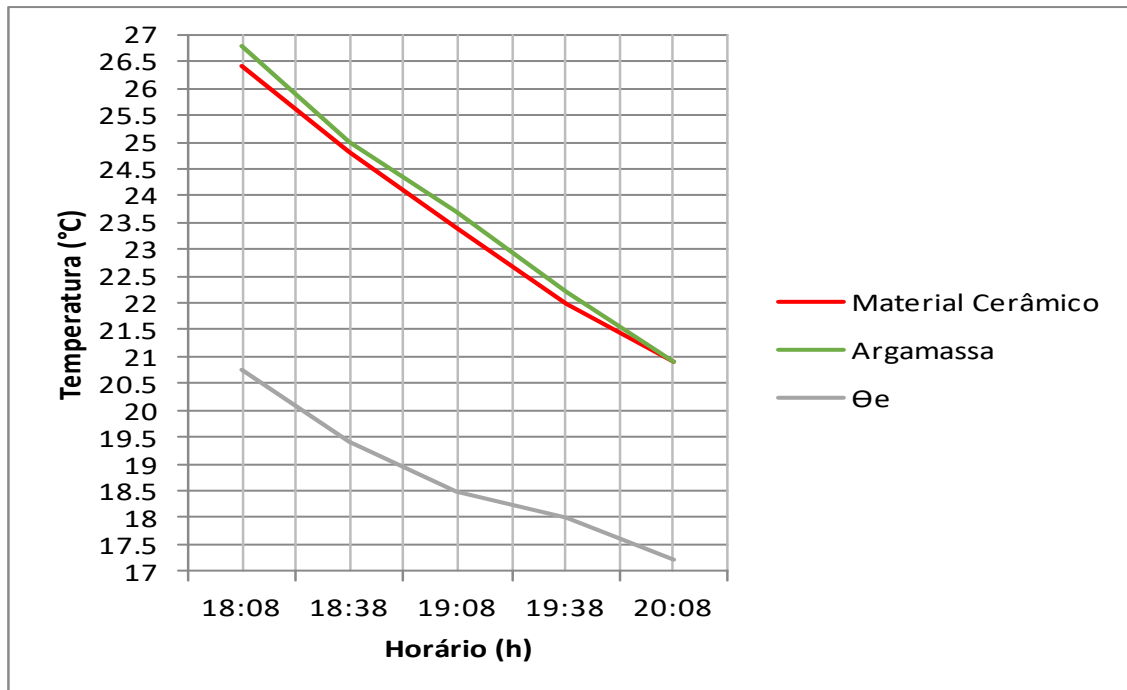


Figura 29- Gráfico com a evolução das temperaturas nos pontos e temperatura ambiente nos vários horários.

Às 18:08h a temperatura ambiente exterior era de 20,74°C e até ao fim do ensaio os valores foram reduzindo.

Durante o dia, e com a radiação solar, ambos os elementos absorveram energia, e segundo o gráfico o material com a temperatura mais elevada foi a argamassa, o que quer dizer que o material mais denso demora mais tempo a aquecer.

Com o passar do tempo as perdas de calor na argamassa são maiores que no azulejo e no final do ensaio chegamos á mesma temperatura em ambos os materiais, esta conclusão pressupõe que o material mais denso (cerâmico) demora também mais tempo a dissipar energia, o que quer dizer que têm uma capacidade de armazenamento maior.

Não existe grande discrepância de valores entre os resultados obtidos pelos diferentes materiais pois a diferença de densidade também é pequena.

Seria interessante perceber o que iria acontecer num período mais longo de tempo e com mais diversidade de materiais. No ponto seguinte será estudada a mesma fachada relacionando-se a densidade com a temperatura em soluções construtivas diferentes: a solução original do edifício e a solução intervencionada com a aplicação de isolamento pelo interior.

### 4.2.3. Fachada Sul - Zona 31 e 32

O ensaio 4 foi realizado na fachada orientada a SUL, com o intuito de comparar as diferentes soluções construtivas na mesma fachada, ou seja com as mesmas condições de incidência solar e temperaturas, e verificar a evolução das temperaturas em ambas.

Neste ensaio tentamos inverter o fluxo de calor da parede. Seleccionaram-se os pontos de medição: um no piso 1, na parede intervencionada com a colocação de placas *gypcork* (cortiça e gesso); outro no piso 0, na parede de construção com a solução original.

Foi ligado o ar condicionado para arrefecer ambas as salas, seleccionados na potência máxima (de referir que os aparelhos de ar condicionado são de iguais características) aquando a primeira captação de termograma.

Houve o cuidado de registar a temperatura exterior com o termo higrómetro na sombra para não haver influência da radiação solar.

Os termopares foram protegidos com 1cm de EPS para não haver interferência de agentes exteriores.

O objetivo foi conseguir temperaturas mais baixas no interior que no exterior e analisar termogramas tirados aproximadamente no mesmo sítio pelo exterior e pelo interior da parede.

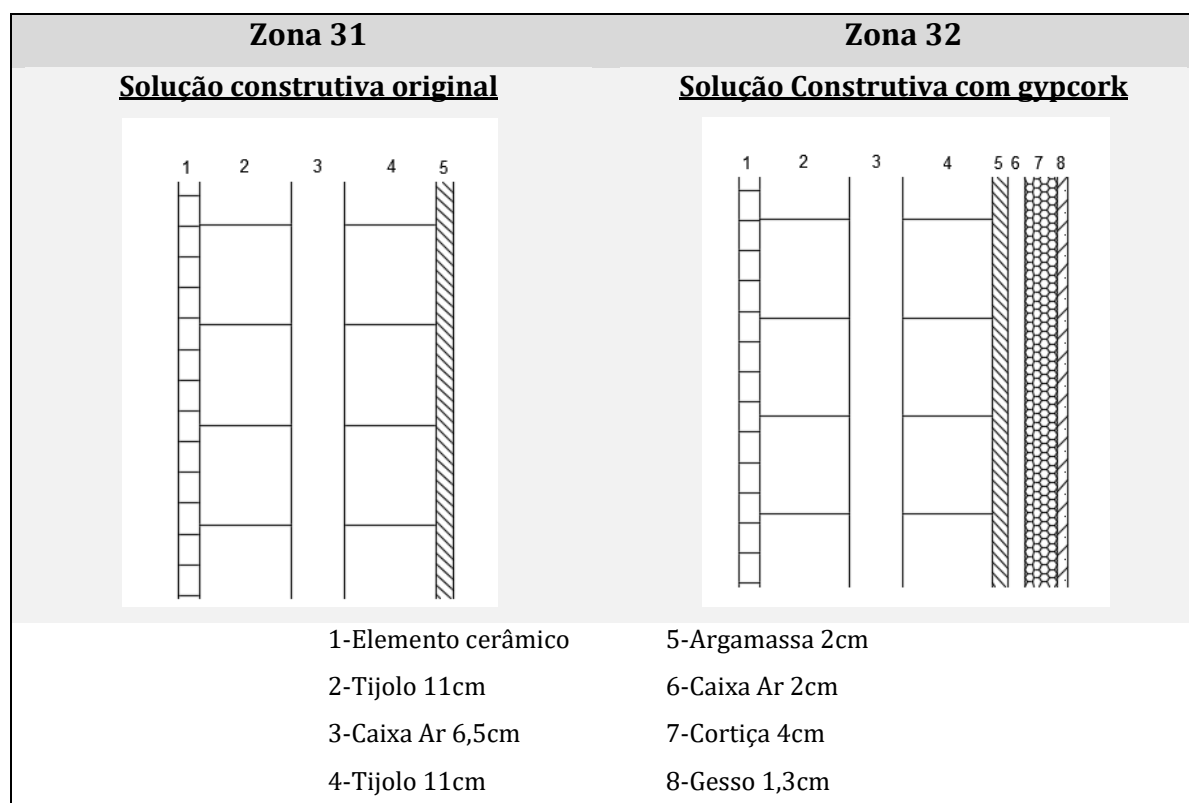


Figura 30-Solução construtiva das zonas 31 e 32, na fachada sul.

No primeiro ensaio, onde se avaliou o comportamento nas 2 zonas, foram analisadas as temperaturas obtidas registadas na Tabela 20, sendo que todo o ensaio foi realizado durante o período de exposição solar.

Tabela 20- Temperaturas medidas no local durante o ensaio.

Horário	$\Theta_e$ (°C)	HRe (%)	$\Theta_i$ Z 31 (°C)	$\Theta_i$ Z 32 (°C)	$\Theta_{se}$ Z 31 (°C)	$\Theta_{se}$ Z 32 (°C)	$\Theta_{si}$ Z 31 (°C)	$\Theta_{si}$ Z 32 (°C)
10:00h	30,10	35,87	27,50	29,22	29,31	34,63	27,72	31,00
10:15h	28,80	36,21	26,18	27,35	30,81	31,80	27,18	30,05
10:30h	29,06	37,00	25,84	26,90	31,95	29,63	26,51	29,69
10:45h	29,75	36,60	26,08	26,58	33,40	27,44	26,20	29,31
11:00h	30,39	34,20	26,93	26,43	34,55	25,28	25,97	29,03
11:15h	30,69	34,15	26,20	26,17	36,11	23,37	25,75	28,89
11:30h	30,80	32,00	24,45	25,99	37,16	21,64	25,64	28,84
11:45h	30,79	31,40	24,99	25,82	38,37	19,86	25,33	28,62
12:00h	31,05	31,00	24,06	25,69	39,45	18,40	25,06	28,63

Foram desenhados 2 gráficos, um representado na Figura 31 para as temperaturas exteriores e, um segundo, representando na Figura 32 com as temperaturas interiores inerentes a todo o ensaio.

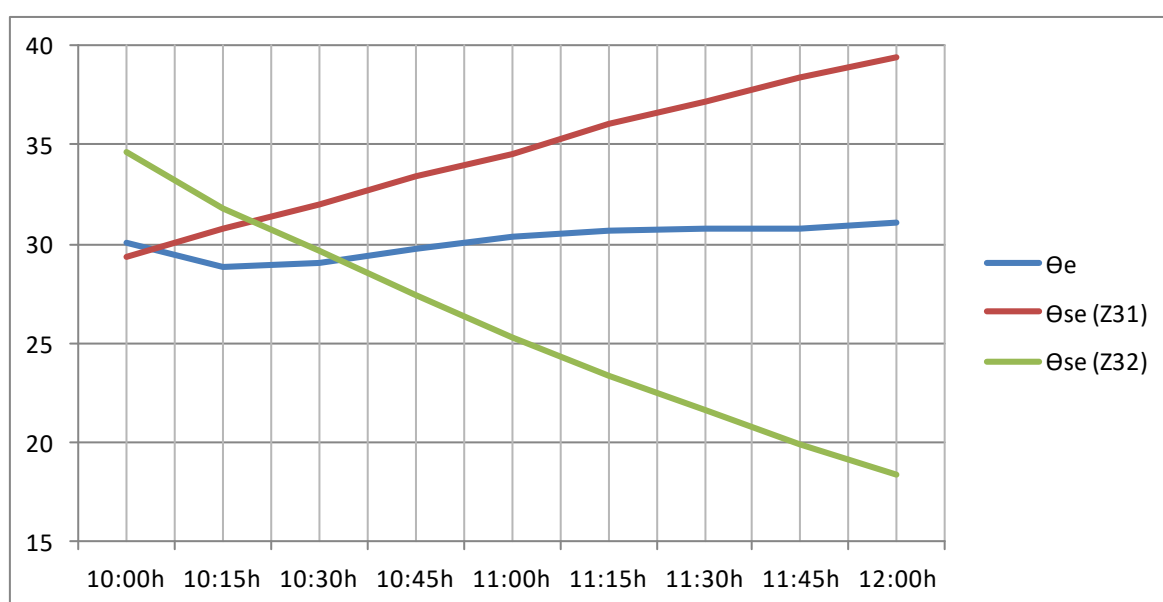


Figura 31- Temperaturas exteriores registadas no ensaio 4.

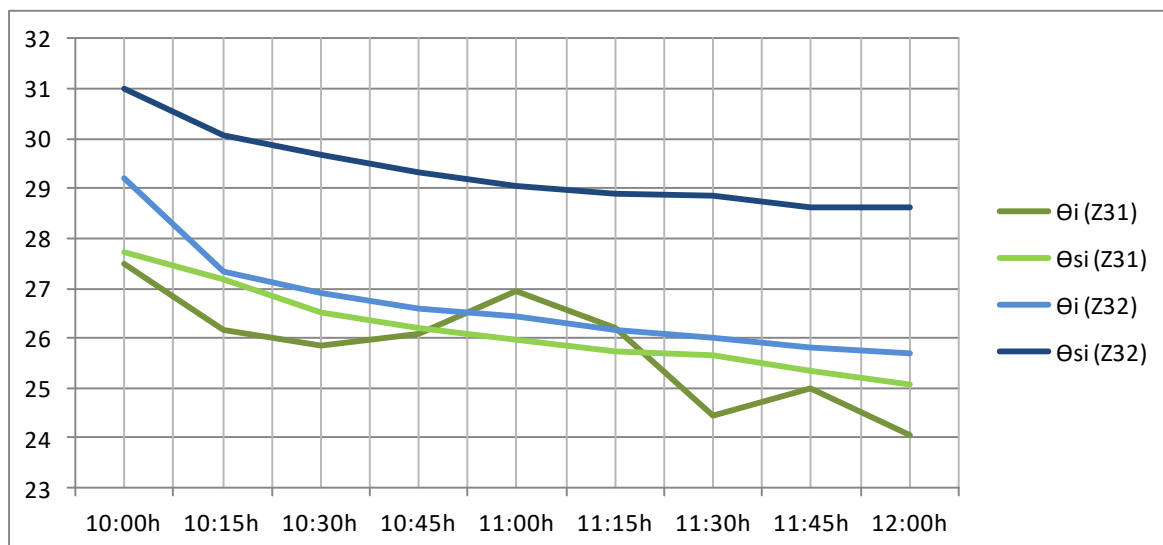


Figura 32- Temperaturas interiores registadas no ensaio 4.

Ao se analisarem estes dados, ainda sem comparar com as imagens termográficas constatou-se algo que, inicialmente, se pensou ser um erro: a temperatura superficial exterior na Zona 32, no piso 1, apresentou uma redução, enquanto na Zona 31, como seria de esperar, a temperatura subiu uma vez que estava a haver incidência solar e a temperatura ambiente exterior também estava a aumentar.

Devido à dúvida sobre as temperaturas captadas nestas zonas, voltou a realizar-se o mesmo ensaio, com condições semelhantes, no dia 25 de julho de 2019 o qual será tratado mais à frente.

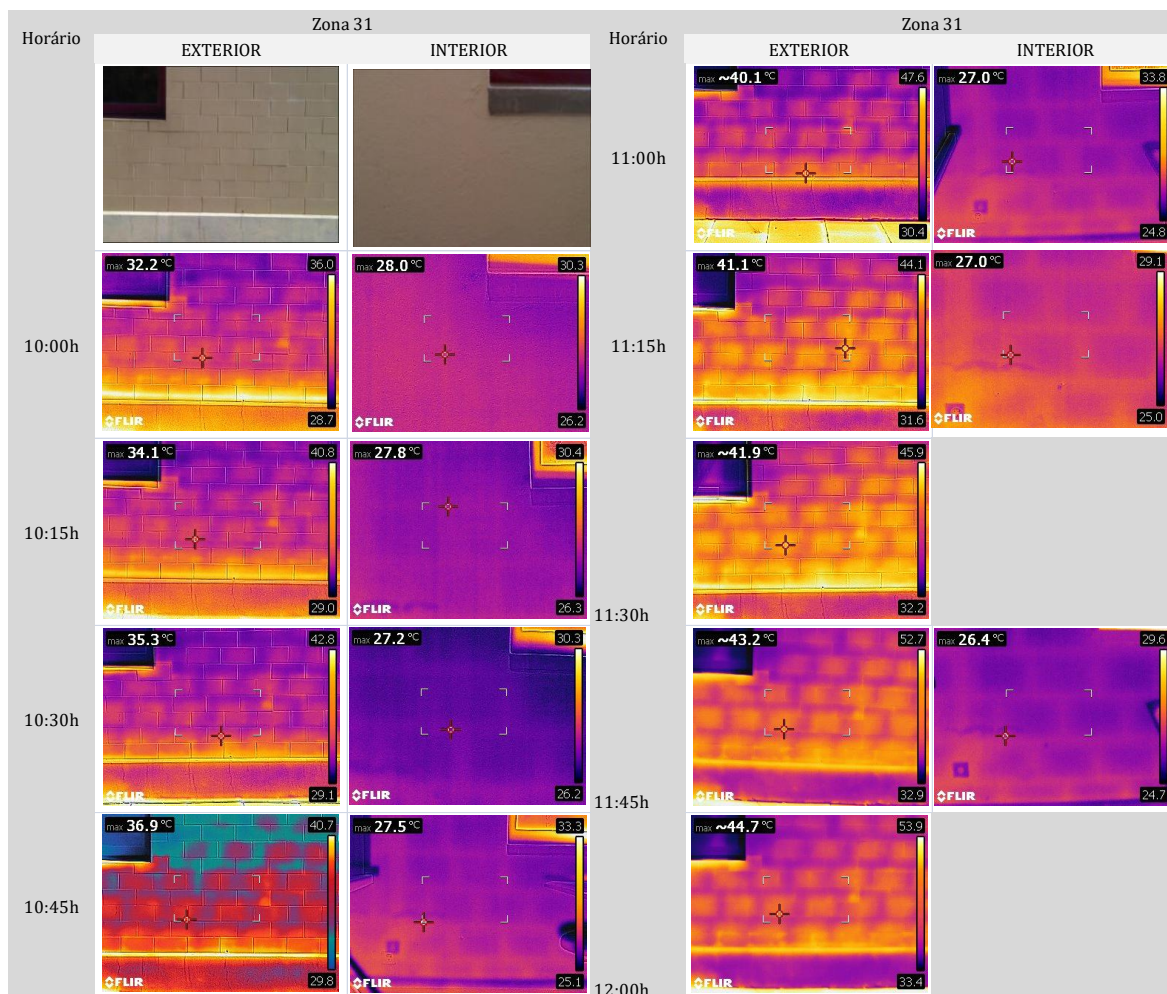
Em relação às temperaturas ambiente interiores apesar de se ter tentado obter as mesmas condições para ambas as salas não foi possível, pois apesar do ar-condicionado ter as mesmas características, o volume delas é diferente e durante o ensaio a porta da sala foi abrindo e fechando proporcionando trocas.

No gráfico a cor azul estão as temperaturas interiores no piso 1 e a cor verde estão as temperaturas do piso 0.

Ao nível do piso 1, a temperatura superficial coincide algumas vezes com a temperatura ambiente e estão ao longo do tempo sempre próximas, já ao nível do piso 0 mesmo não acontece, ambas as temperaturas são constantes, nunca se cruzam e existe uma diferença de cerca de 2°C entre elas.

Os termogramas captados neste ensaio foram obtidos pelo interior e exterior na zona 31 e 32 da fachada e encontram-se na Tabela 21.

Tabela 21- Termogramas captados no ensaio 4, ZONA 31 - (20/07/2019)



Os ensaios nestas zonas foram os únicos com a captação de imagens e dados pelo exterior e pelo interior.

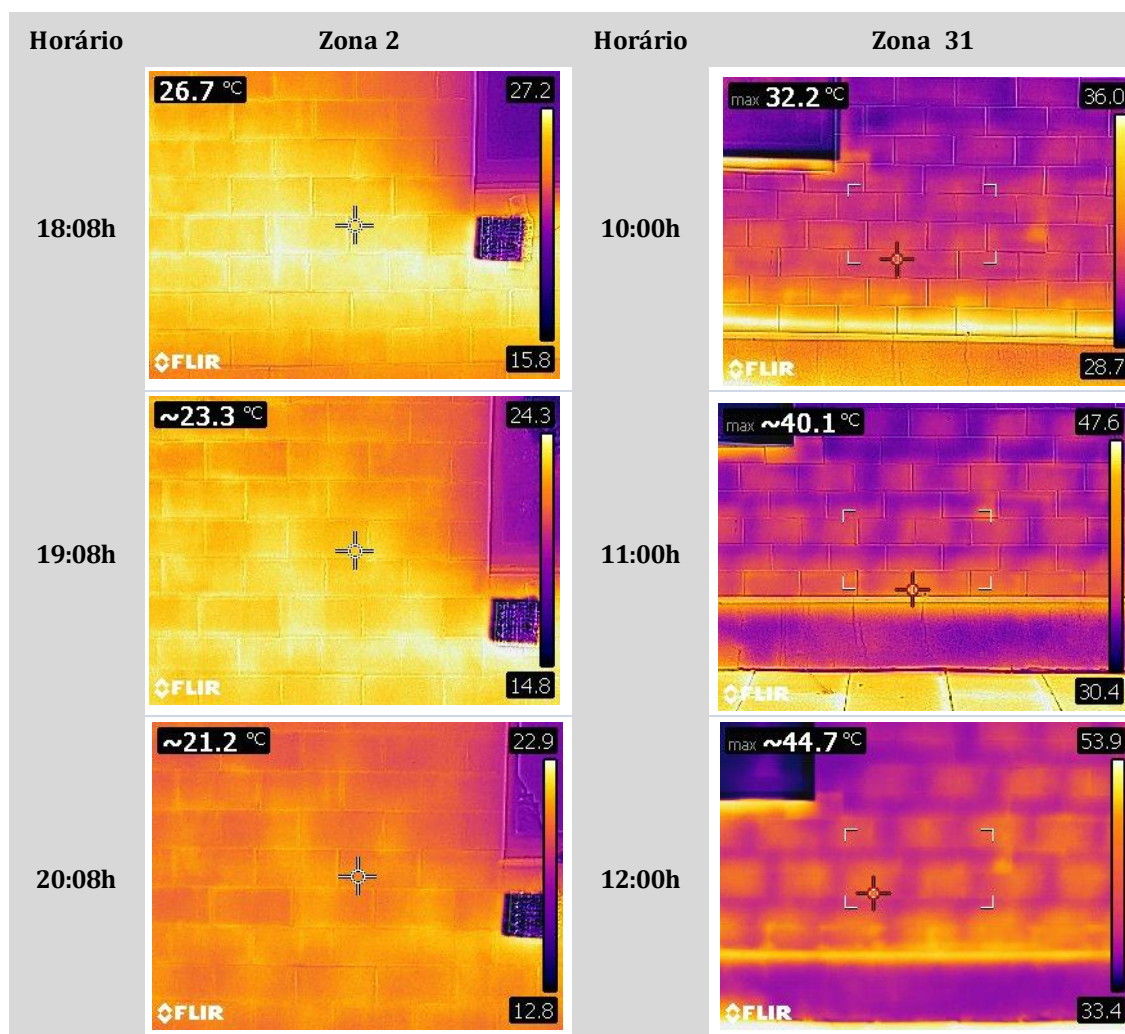
Nas imagens captadas pelo interior, numa fase inicial era possível apenas ver o revestimento superficial (argamassa) e, após cada intervalo de tempo, e gradualmente, foi sendo possível ver a alvenaria por trás do revestimento, a partir das 10h45m já é possível identificar o tijolo da parede. Considerando que o fluxo está no sentido exterior-interior, tal representa o aquecimento progressivo da alvenaria que passa a emitir mais radiação do que o revestimento.

Tudo isto acontece enquanto, segundo as medições na Zona 31 no piso 0, a temperatura exterior e a temperatura superficial exterior aumentam e, a temperatura interior e a temperatura superficial interior apresentam variações insignificantes.

Ainda numa análise qualitativa à Zona 31, nas imagens do exterior, apenas conseguimos ver a temperatura nos elementos da solução construtiva, ou seja, por detrás do revestimento superficial (o tijolo e a argamassa de assentamento). Ao contrário do que acontece nas imagens da Zona 2 nas quais, até ao último termograma, o que conseguimos distinguir é a temperatura do revestimento exterior,

o azulejo e a argamassa das juntas. No último termograma é possível já começar a distinguir também a alvenaria de tijolo, o que também acontece na Zona 31, como se verifica na Tabela 22.

Tabela 22- Excerto de termogramas na Zona 2 (02/04/2018), ensaio 1 e Zona 31 (20/07/2019), ensaio 4.

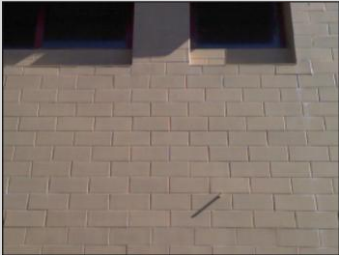
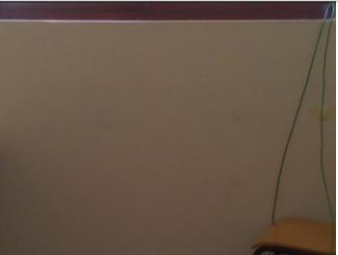

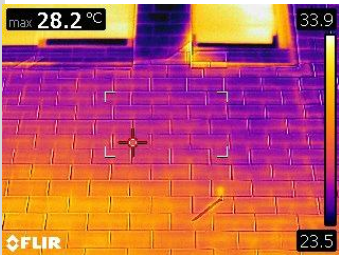
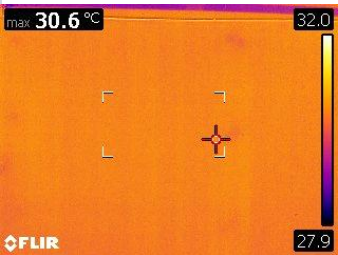
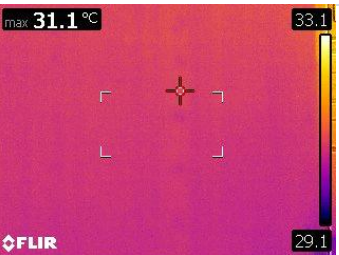
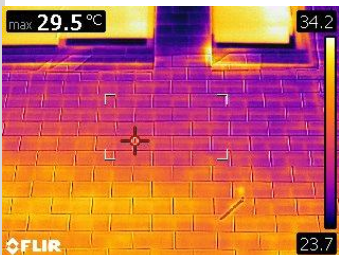
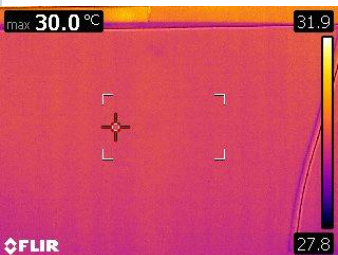
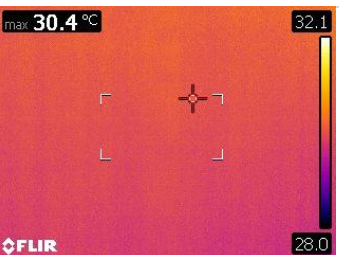

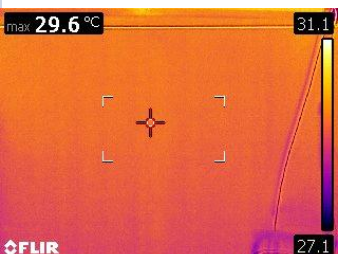
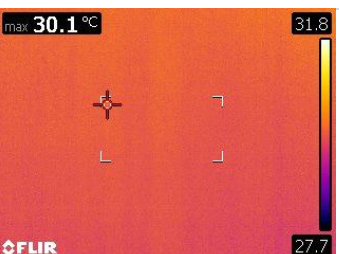

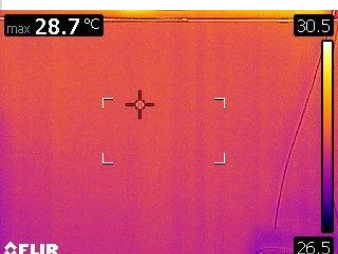
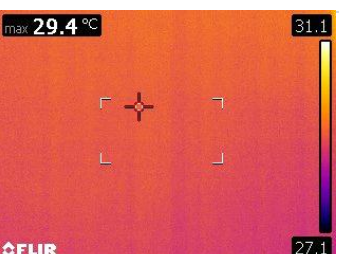


Na Tabela 22 estão representados termogramas na mesma área da fachada sul que foram captados em ensaios diferentes, um no mês de Abril de 2018 e outro no mês de julho de 2019. Na Zona 2, o ensaio decorreu no final do dia, sem incidência solar provocando o processo de arrefecimento na fachada e na Zona 31, o ensaio decorreu durante o início da manhã com a exposição solar da fachada o que levou ao processo de aquecimento.

A termografia capta o elemento que emite mais radiação, o que significa que no caso da Zona 2 o revestimento está a uma temperatura mais elevada, enquanto que, no caso da Zona 31 é a alvenaria o elemento mais quente.

Segue-se a Tabela 23 com os termogramas captados no Piso 1, Zona 32, onde apenas estão presentes os termogramas em que houve captação pelo exterior e interior. Nesta tabela só existem imagens até às 10:45h, a partir dessa hora verificou-se que os termogramas pelo interior já não permitiam quais conclusões e o ensaio alongou-se até as 12:00h mas com captação de imagens apenas pelo exterior como mostra o anexo E.

Tabela 23- Termogramas captados no ensaio4 ZONA 32 - (20/07/2019)

Horário	EXTERIOR	INTERIOR	
			
10:00h			
10:15h			
10:30h			
10:45h			

Na Zona 32, e de acordo com termogramas captados pelo exterior, apenas conseguimos captar os elementos superficiais, o material cerâmico, não existe quaisquer alterações ao longo do tempo.

Através da análise, ainda pelo exterior, é possível notar em todas as imagens termográficas que na sua base a temperatura é superior á do reso da imagem, pode ter a ver com o fato de ser a zona na laje.

Nas imagens pelo interior logo aquando o início do ensaio, e até as 10:45h, é possível ver a estrutura metálica por detrás da placa de gesso cartonado como se pode ver na Figura 33 que ilustra os termogramas captados na Zona 32 no horário das 10:15h.

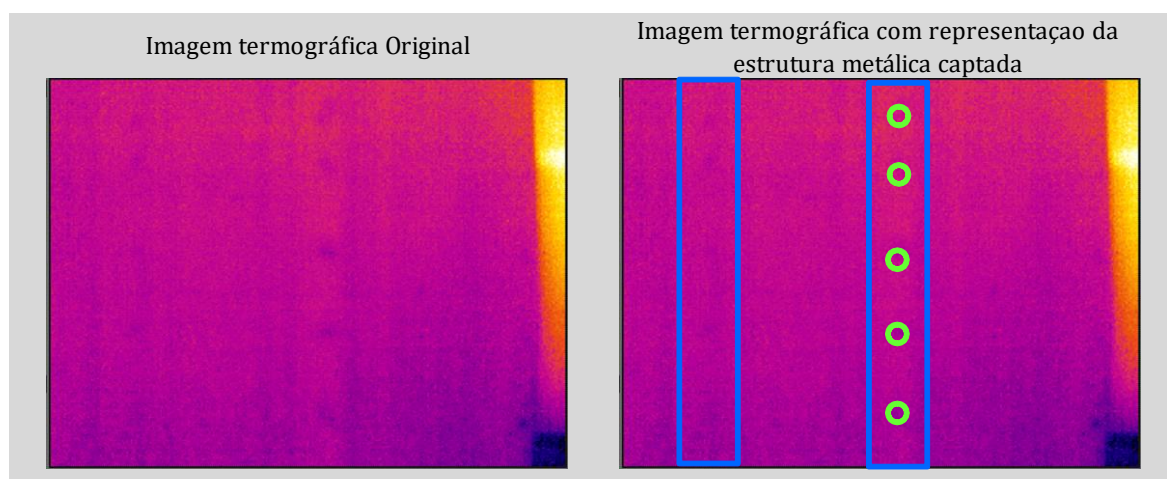


Figura 33- Ilustração da estrutura metálica por detrás da placa de gesso cartonada.

Devida á incerteza nas medições realizadas neste ensaio, e como já foi mencionado, repetiu-se o mesmo ensaio, em condições semelhantes, mas apenas na Zona 32.

Na repetição do ensaio, para além das medições no ensaio base, foi também registada a temperatura na caixa-de-ar entra a fachada e o isolamento interior em placa de gesso cartonado + cortiça e foram captados termogramas em todos os horários para o interior.

Através do registo das temperaturas foi assim possível criar um esquema da fachada identificando todas as temperaturas nos vários elementos e avaliar todos estes elementos em conjunto com os termogramas captados e as temperaturas obtidas também por eles.

Todas as análises feitas em torno do ensaio 5 seguem-se no anexo F, assim como o registo das temperaturas obtidas. No gráfico da Figura 34 pode-se observar a evolução das temperaturas registadas com o passar do tempo.

Confirma-se que não houve qualquer erro de medição no ensaio base.

Todo o ensaio foi realizado com incidência da radiação solar na fachada e este ensaio surgiu no final de junho.

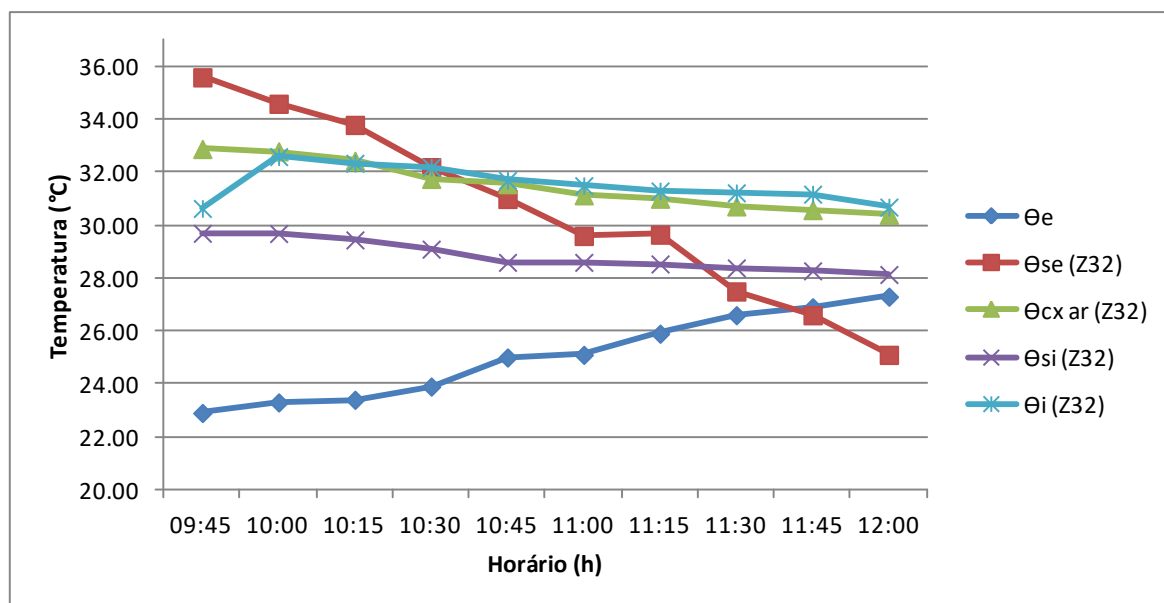


Figura 34- Parâmetros medidos no ensaio 5.

Segundo este gráfico confirma-se o que já tinha acontecido no ensaio 4, a temperatura ambiente exterior sobe e a temperatura superficial exterior desce.

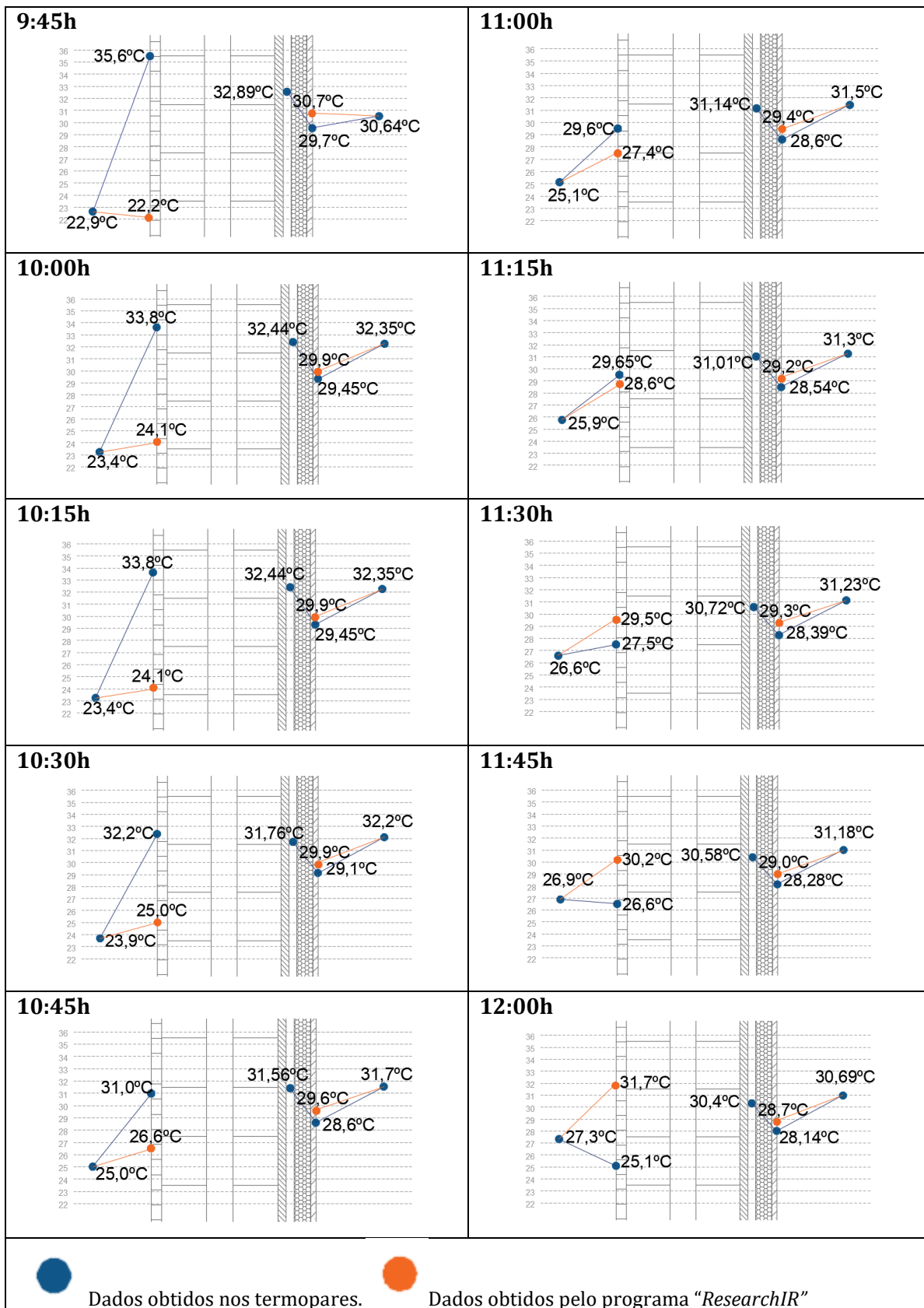
Depois de alguma análise e reflexão sobre os resultados de temperatura superficial exterior obtidos chegou-se à conclusão que o facto de o termopar estar protegido com o pedaço de EPS de 1cm não receber a radiação solar diretamente, o que indica uma temperatura real do elemento e não da sua superfície exposta.

Entretanto a temperatura atinge valores inferiores ao da temperatura exterior o que pode ser explicado pelo arrefecimento noturno da parede, que nessa noite segundo o instituto português de meteorologia atmosférica a temperatura mínima rondou os 22°C, relacionado com a inércia térmica do elemento e do tempo necessário para aquecer o mesmo na sua totalidade, no entanto, é de referir que para ter certezas destas afirmações seria necessário uma análise mais aprofundada para explicar esta situação podendo ser um trabalho a se desenvolver no futuro.

A partir destes parâmetros registou-se num esquema a evolução do fluxo de calor na Zona 32 representado na Tabela 24, a cor azul são valores referentes a medições obtidas pelos equipamentos de medição e com cor laranja os valores extraídos dos termogramas captados pelo exterior e interior.

Os valores de temperaturas obtidos pelos termogramas derivaram de temperaturas médias em uma área situada junto ao local onde foi colocado o termopar, o objetivo é tentar relacionar ambo os resultados obtidos.

Tabela 24-Eschema com as temperaturas medidas no ensaio 5. (25/07/2019)



Após análise à Tabela 24, verificou-se que ao nível das temperaturas superficiais pelo interior a tendência de evolução foi a mesma e os valores obtidos por ambas as vias são bastante idênticos. Em relação às temperaturas superficiais pelo exterior, os termopares mediram efetivamente a temperatura do elemento enquanto a termografia captou a radiação emitida pelo mesmo, e devido a estarmos com incidência da radiação solar, o valor de temperatura subiu durante o ensaio ao contrário da medição real.

O isolamento, cortiça, a única coisa que proporciona de diferente é o facto de não deixar o fluxo passar tão facilmente naquela zona, fazendo com que a parede original quando começa a perder energia em maior proporção para o exterior do que para o interior deva à sua presença.

Nas imagens captadas pelo interior é possível distinguir a forma da estrutura metálica que suporta as placas de gesso cartonado como já se indicou, o que indica que a estrutura metálica naquela momento seria o elemento a radiar mais radiação, fez-se então um teste retirando observando a temperatura na zona das calhas e numa zona sem calhas, resultou para quase todos os termogramas uma diferença de 0,1°C entre zonas, daí poder ver-se as calhas na imagem mas com alguma dificuldade porque a diferença entre temperaturas é muito baixa.

E o facto de a calha com o passar do tempo deixar de se ver nas imagens conforme demonstra a Figura 35, está ligado com o fato da fachada exterior quando se começou o ensaio estava bastante quente e com o passar do tempo a temperatura foi descendo tanto na superfície como no interior e a superfície passou a libertar mais radiação do que as calhas.

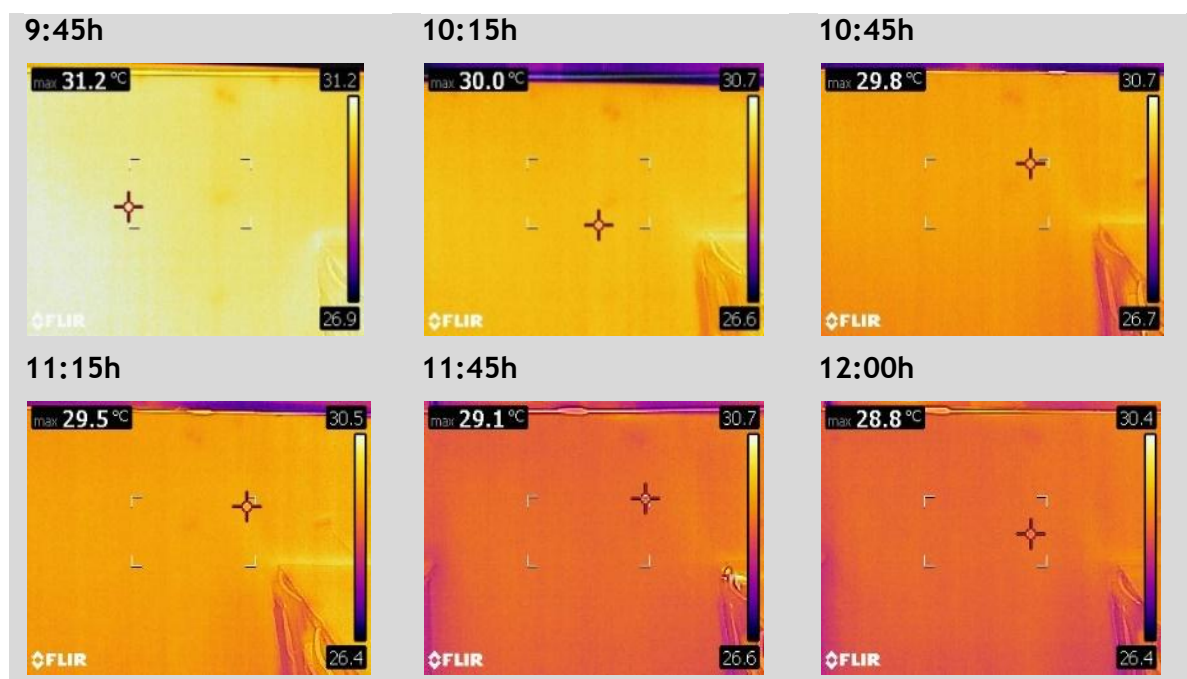


Figura 35- Excerto de termogramas pelo interior durante o ensaio 5 na zona 32.

## 4.3. Análise da Fachada Este

### 4.3.1. Zonas analisadas a Este

A fachada Este foi analisada a partir da recolha de dados no exterior do edifício, sendo que todas as imagens recolhidas se encontram no Anexo C.

Nesta recolha, realizada no dia 14 de abril de 2018, foram delimitadas 13 zonas representadas no esquema ilustrativo da Figura 33, desde a zona 9 à zona 21. As referidas zonas foram definidas de modo a analisar a ligação entre elementos e a relação entre elementos construtivos diferentes. Tentou-se captar a zona das lajes, as ligações fachada com caixilharias, fachada com laje e fachada com pavimento térreo.

Todos os termogramas foram captados pelo exterior do edifício.

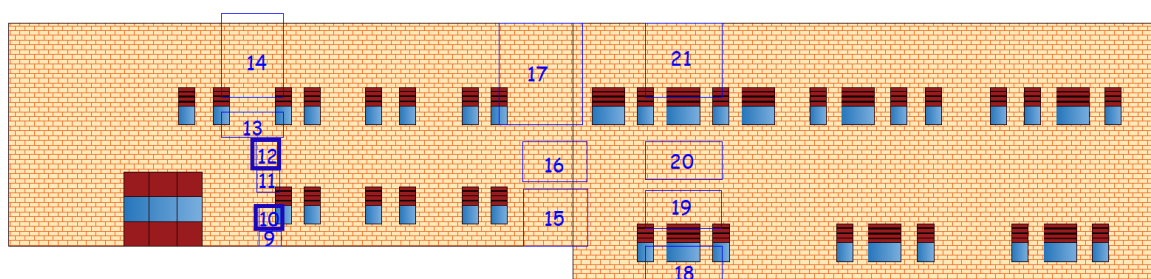


Figura 36-Localização dos termogramas (fachada orientada a este).

Embora tenham sido captados termogramas em todas as zonas, não foram efetuadas medições em todas elas, mantendo-se os termopares na Zona 10. Neste sentido, somente será analisada a Zona 10, por ser a zona de localização dos termogramas e a Zona 12 por ser um ponto próximo da Zona 10 com vários elementos construtivos nomeadamente a laje intermédia.

### 4.2.2. Fachada Este - Zona 10

As medições de temperaturas superficiais foram obtidas pelos termopares, pelo exterior e interior, tendo estes sido localizados na Zona 10 e mantendo-se no mesmo local durante todo o ensaio.

Serão assim comparados os valores de temperatura medidos com os termopares e valores obtidos através de análise das imagens termográficas, inseridas no programa informático referido anteriormente.

Nestes pontos irão comparar-se os valores de temperatura obtidos pelo termograma em comparação com os registados no momento do ensaio.

Recorrendo-se ao programa informático, foi delimitada uma área junto ao local onde foi colocado o termopar e apenas sobre o material cerâmico, junto ao local onde se colocou também o termopar. Desta área é obtido um valor médio de temperaturas entre todos os pixéis localizados na mesma. Segue-se a Tabela 25 onde estão os

resultados obtidos através da análise termográfica e os parâmetros obtidos durante o ensaio.

Tabela 25-Termogramas e áreas definidas para medições no “ResearchIR”.




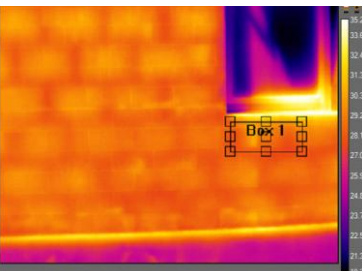

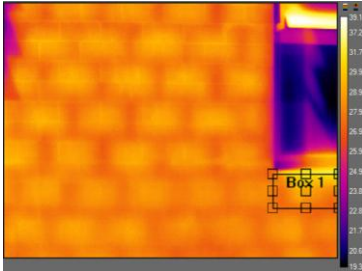

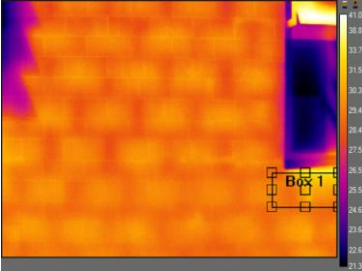

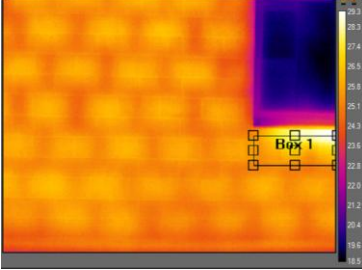

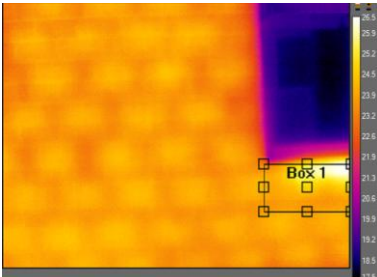

	Imagem original	Imagem térmica		
11:00h			$\theta_e$	22,05°C
			HRe	44,35%
			$\theta_i$	19,34°C
			$\theta_{se}$	18,24°C
			$\theta_{si}$	17,00°C
			Tmédia "área"	25,54°C
11:20h			$\theta_e$	22,48°C
			HRe	44,68%
			$\theta_i$	19,33°C
			$\theta_{se}$	17,24°C
			$\theta_{si}$	17,07°C
			Tmédia "área"	28,6°C
11:40h			$\theta_e$	27,12°C
			HRe	34,30%
			$\theta_i$	19,27°C
			$\theta_{se}$	16,60°C
			$\theta_{si}$	17,21°C
			Tmédia "área"	28,30°C
12:00h			$\theta_e$	20,30°C
			HRe	47,20%
			$\theta_i$	19,29°C
			$\theta_{se}$	15,66°C
			$\theta_{si}$	17,38°C
			Tmédia "área"	29,80°C
12:20h			$\theta_e$	17,10°C
			HRe	55,13%
			$\theta_i$	19,19°C
			$\theta_{se}$	15,38°C
			$\theta_{si}$	17,41°C
			Tmédia "área"	26,30°C

Tabela 26- Continuação da tabela 25.

	Imagem original	Imagem térmica		
12:40h			$\Theta_e$	17,79°C
			HRe	55,00%
			$\Theta_i$	19,14°C
			$\Theta_{se}$	15,56°C
			$\Theta_{si}$	17,60°C
			Tmédia "área"	24,40°C
			13:00h	
HRe	52,55%			
$\Theta_i$	19,07°C			
$\Theta_{se}$	15,80°C			
$\Theta_{si}$	17,68°C			
Tmédia "área"	23,70°C			

Até as 11:40h, a fachada esteve à sujeita a radiação solar, após este horário a parede passou a ficar à sombra e, sendo um dia de inverno com temperaturas exteriores a rondar os 18°C, iniciou-se o processo de arrefecimento da fachada.

Após a análise dos termogramas, verifica-se a incompatibilidade de comparação pois os termogramas captam a radiação infravermelha, que depende da temperatura do elemento, captando assim os elementos que emitem mais radiação visto estarem a uma temperatura superior. Nestas imagens, a termografia está a captar a temperatura dos elementos construtivos por trás do revestimento, nomeadamente o tijolo e a argamassa da alvenaria, e as medições realizadas são referentes apenas a elementos construtivos superficiais.

Apesar das considerações tomadas, no ponto seguinte, será feita uma análise através de um gráfico onde estarão representadas por linhas todas as temperaturas registadas com o equipamento no local, assim como a temperatura obtida através do termograma, registadas nas tabelas anteriores e designadas como temperatura média na área. Desta forma é possível observar-se o comportamento das mesmas ao longo do tempo.

### a) Zona 10 - Análise da temperatura em função do tempo

A partir das 11:40h a fachada que antes estava exposta a radiação solar passa a ficar à sombra. A temperatura superficial interior e a ambiente interior mantiveram-se praticamente inalterados, com temperaturas constantes durante todo o ensaio.

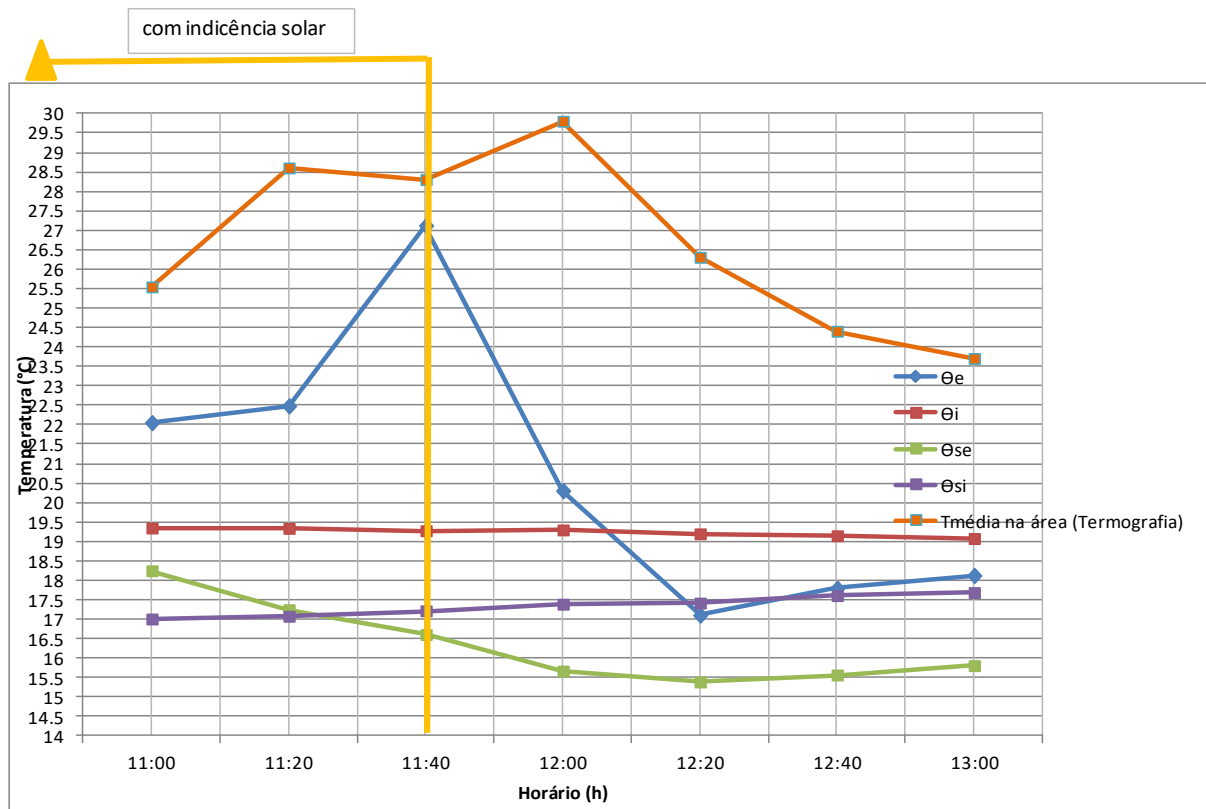


Figura 37- Temperaturas medidas “in situ” e temperatura média na área identificada nos termogramas (14/04/2018).

Segundo a Figura 37 a temperatura no interior da parede é superior a todas as temperaturas registadas.

Considerando a baixa temperatura ambiente e o facto da radiação incidente no inverno ser menos intensa, esta não foi suficiente para que o material de revestimento se apresentasse a uma temperatura mais elevada que o pano de alvenaria. Considerando as temperaturas ambientes registadas, o fluxo de calor vai do interior para o exterior, o que justifica o facto do pano de alvenaria possuir uma temperatura mais elevada.

## b) Zona 12 - Análise da temperatura em função da densidade

Através da análise da Zona 12, será possível relacionar a evolução das temperaturas com a densidade dos materiais. Neste caso ter-se-á em consideração os tipos de solução construtiva, a laje intermédia, a alvenaria de tijolo e uma zona da verga da janela expostos às mesmas condições.

Na Figura 38 está representada uma imagem termográfica (a) e a imagem real (b) dos elementos presentes na Zona 12, fachada orientada a este.

Através do termograma (Figura 38a) é possível identificar zonas distintas umas das outras, isto acontece porque a termografia está a captar a radiação dos materiais que constituem as soluções por de trás do revestimento, sendo assim possível identificar os elementos de suporte- (pano de alvenaria).

Para reforçar este fato registou-se outra imagem do mesmo ensaio, mas em outra zona da fachada, onde se pode observar que no primeiro termograma (Figura 39a) a maior radiação é dos elementos por de trás do revestimento e, com o passar do tempo, a radiação destes começa a ser cada vez mais baixa, passando a ser mais alta no revestimento em determinado momento deixamos de distinguir os elementos (Figura 39b).

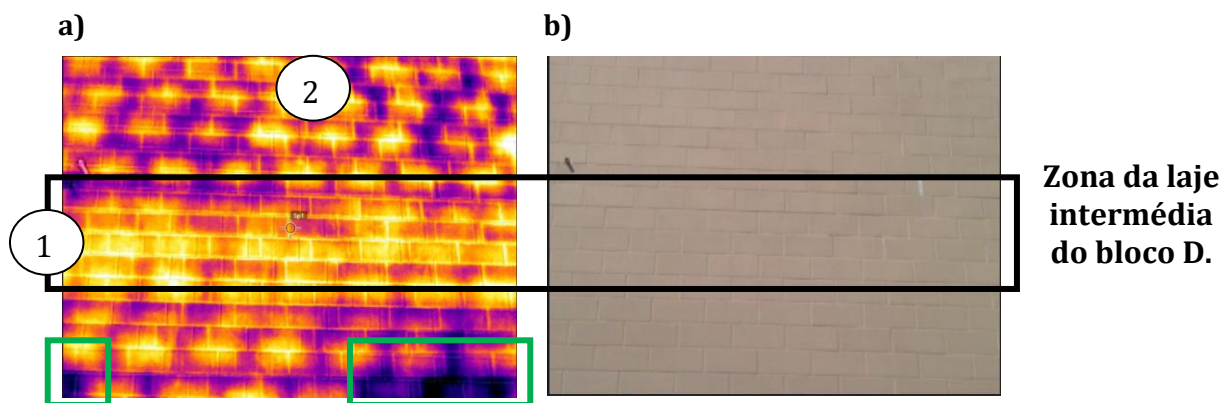


Figura 38-Zona 12 com identificação da laje intermédia do bloco: a) termograma; b) imagem original, EST.

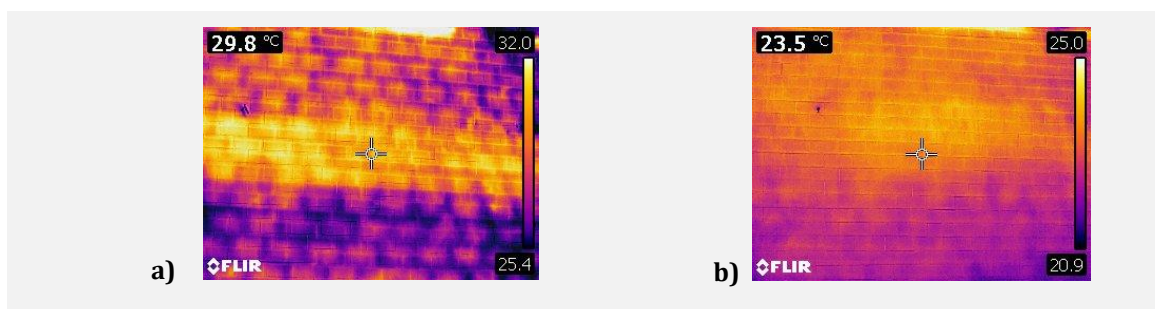


Figura 39- Zona 20: a) primeiro termograma às 11:00h; b) último termograma às 13:00h.

Na Figura 38a é visível uma zona com temperaturas superiores a meio da imagem (assinalada com o retângulo), acima e abaixo desta zona é visível a alvenaria de tijolo (com temperaturas diferenciadas devido às diferentes soluções aplicadas) e, nos cantos inferiores da imagem, temos duas zonas mais frias que representam as vergas da janela (assinaladas com retângulo na cor verde).

A Figura 40 permite observar as soluções construtivas existentes identificadas na Figura 38 como 1 e 2.

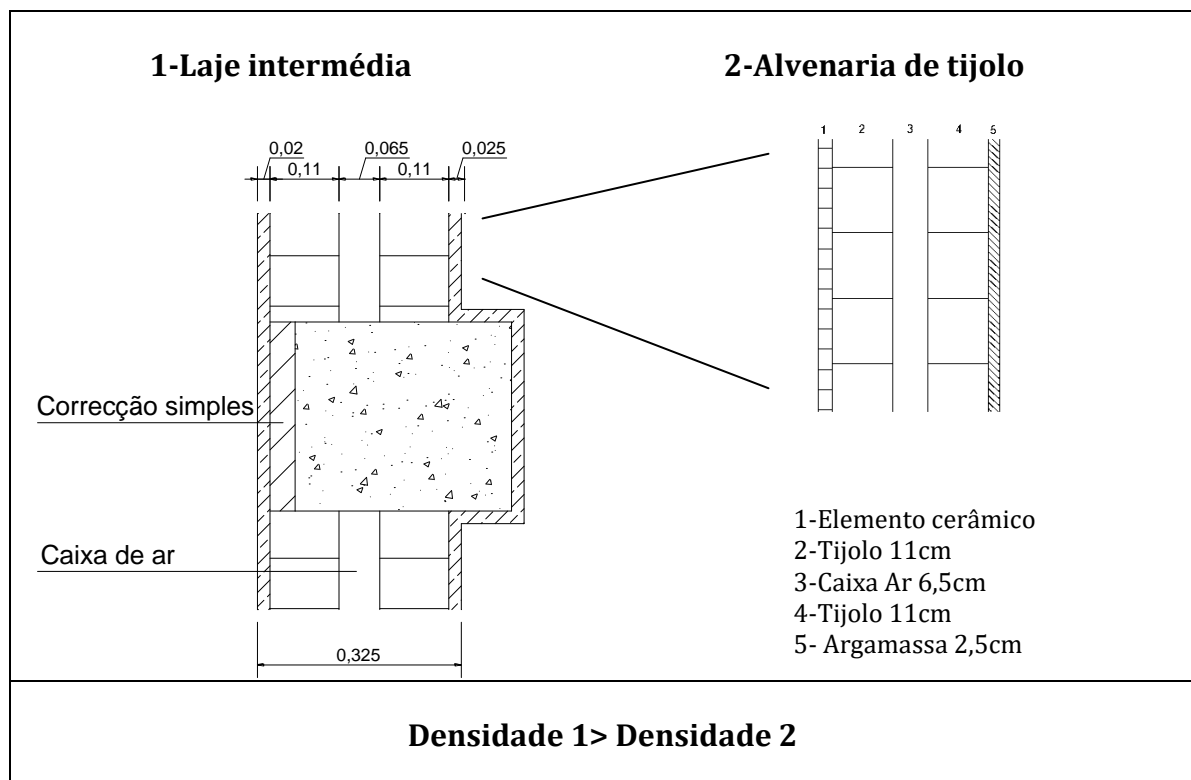

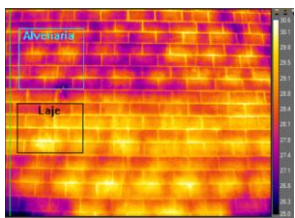
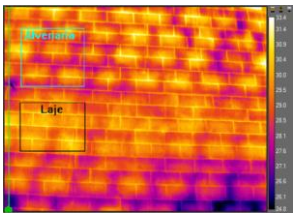
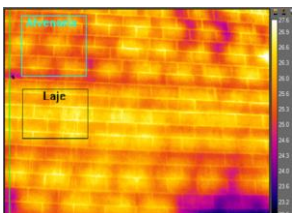
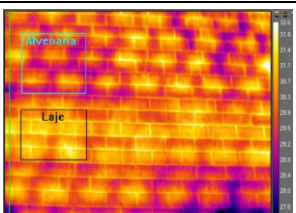
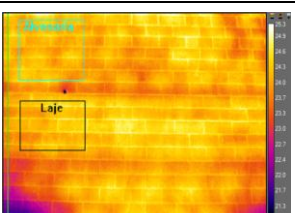
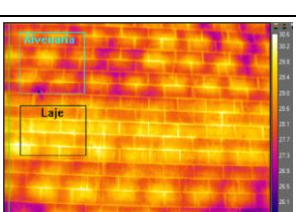
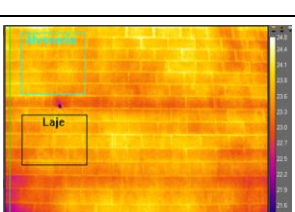


Figura 40- Representação de soluções construtivas na zona 12.

Através da imagem é possível identificar os elementos construtivos, já que a laje é mais densa que a zona da alvenaria de tijolo. Através do programa informático foi medida a temperatura média numa área da laje e no pano de tijolo, com o objetivo de perceber de que maneira se pode relacionar a densidade com o comportamento térmico na parede, sendo que estes dados são apresentados na Tabela 27.

Para além das medições térmicas médias nas áreas, foi elaborado através do programa "ReaserarchIR" um gráfico de temperaturas numa linha vertical que atravessa todos os elementos construtivos para se poder tecer algumas considerações relacionando as temperaturas com o tipo de elemento e materiais empregues.

Tabela 27- Temperaturas médias no pano de tijolo e na laje na Zona 12.

Imagem Original		Horário																					
		12:00h	 <table border="1"> <tr><td><math>\theta_e</math></td><td>20,30°C</td></tr> <tr><td>HRe</td><td>47,20%</td></tr> <tr><td><math>\theta_i</math></td><td>19,29°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "laje"</td><td>29,00°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "alvenaria"</td><td>28,00°C</td></tr> </table>	$\theta_e$	20,30°C	HRe	47,20%	$\theta_i$	19,29°C	Tmédia "laje"	29,00°C	Tmédia "alvenaria"	28,00°C										
$\theta_e$	20,30°C																						
HRe	47,20%																						
$\theta_i$	19,29°C																						
Tmédia "laje"	29,00°C																						
Tmédia "alvenaria"	28,00°C																						
Horário	Imagem Térmica																						
11:00h	 <table border="1"> <tr><td><math>\theta_e</math></td><td>22,05°C</td></tr> <tr><td>HRe</td><td>44,35%</td></tr> <tr><td><math>\theta_i</math></td><td>19,34°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "laje"</td><td>29,7°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "alvenaria"</td><td>29,1°C</td></tr> </table>	$\theta_e$	22,05°C	HRe	44,35%	$\theta_i$	19,34°C	Tmédia "laje"	29,7°C	Tmédia "alvenaria"	29,1°C	12:20h	 <table border="1"> <tr><td><math>\theta_e</math></td><td>17,10°C</td></tr> <tr><td>HRe</td><td>55,13%</td></tr> <tr><td><math>\theta_i</math></td><td>19,19°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "laje"</td><td>26,30°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "alvenaria"</td><td>25,60°C</td></tr> </table>	$\theta_e$	17,10°C	HRe	55,13%	$\theta_i$	19,19°C	Tmédia "laje"	26,30°C	Tmédia "alvenaria"	25,60°C
$\theta_e$	22,05°C																						
HRe	44,35%																						
$\theta_i$	19,34°C																						
Tmédia "laje"	29,7°C																						
Tmédia "alvenaria"	29,1°C																						
$\theta_e$	17,10°C																						
HRe	55,13%																						
$\theta_i$	19,19°C																						
Tmédia "laje"	26,30°C																						
Tmédia "alvenaria"	25,60°C																						
11:20h	 <table border="1"> <tr><td><math>\theta_e</math></td><td>22,48°C</td></tr> <tr><td>HRe</td><td>44,68%</td></tr> <tr><td><math>\theta_i</math></td><td>19,33°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "laje"</td><td>30,80°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "alvenaria"</td><td>29,70°C</td></tr> </table>	$\theta_e$	22,48°C	HRe	44,68%	$\theta_i$	19,33°C	Tmédia "laje"	30,80°C	Tmédia "alvenaria"	29,70°C	12:40h	 <table border="1"> <tr><td><math>\theta_e</math></td><td>17,79°C</td></tr> <tr><td>HRe</td><td>55,00%</td></tr> <tr><td><math>\theta_i</math></td><td>19,14°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "laje"</td><td>24,20°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "alvenaria"</td><td>24,10°C</td></tr> </table>	$\theta_e$	17,79°C	HRe	55,00%	$\theta_i$	19,14°C	Tmédia "laje"	24,20°C	Tmédia "alvenaria"	24,10°C
$\theta_e$	22,48°C																						
HRe	44,68%																						
$\theta_i$	19,33°C																						
Tmédia "laje"	30,80°C																						
Tmédia "alvenaria"	29,70°C																						
$\theta_e$	17,79°C																						
HRe	55,00%																						
$\theta_i$	19,14°C																						
Tmédia "laje"	24,20°C																						
Tmédia "alvenaria"	24,10°C																						
11:40h	 <table border="1"> <tr><td><math>\theta_e</math></td><td>27,12°C</td></tr> <tr><td>HRe</td><td>34,30%</td></tr> <tr><td><math>\theta_i</math></td><td>19,27°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "laje"</td><td>29,20°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "alvenaria"</td><td>28,20°C</td></tr> </table>	$\theta_e$	27,12°C	HRe	34,30%	$\theta_i$	19,27°C	Tmédia "laje"	29,20°C	Tmédia "alvenaria"	28,20°C	13:00h	 <table border="1"> <tr><td><math>\theta_e</math></td><td>18,12°C</td></tr> <tr><td>HRe</td><td>52,55%</td></tr> <tr><td><math>\theta_i</math></td><td>19,07°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "laje"</td><td>23,60°C</td></tr> <tr><td>Tmédia "alvenaria"</td><td>23,70°C</td></tr> </table>	$\theta_e$	18,12°C	HRe	52,55%	$\theta_i$	19,07°C	Tmédia "laje"	23,60°C	Tmédia "alvenaria"	23,70°C
$\theta_e$	27,12°C																						
HRe	34,30%																						
$\theta_i$	19,27°C																						
Tmédia "laje"	29,20°C																						
Tmédia "alvenaria"	28,20°C																						
$\theta_e$	18,12°C																						
HRe	52,55%																						
$\theta_i$	19,07°C																						
Tmédia "laje"	23,60°C																						
Tmédia "alvenaria"	23,70°C																						

Numa observação meramente visual dos termogramas nos vários horários, sabemos que a termografia capta a temperatura do material mais quente. Assim é interessante verificar que no início do ensaio (com incidência solar), os termogramas registam a temperatura da alvenaria, com maior emissão de radiação infravermelha, nomeadamente o tijolo e a argamassa. A partir das 11:40h (última medição do ensaio com incidência solar), começa a haver um equilíbrio entre a temperatura da alvenaria e do seu revestimento, sendo que às 12:40h já praticamente mal se distingue um do outro e, na última imagem captada, já não é possível distinguir nem o revestimento superficial nem a alvenaria.

A área mais fria, nos cantos inferiores dos termogramas, são as vergas das janelas, estas zonas são em betão e não possuem a correção simples de pontes térmicas, existente na laje, o que resulta num elemento mais frio que os restantes. Esta zona, para além do já mencionado, está em contacto directo com o ambiente exterior e embora tenha o revestimento da fachada, no perímetro do vão está completamente exposta, sem qualquer proteção, o que significa que o elemento arrefece durante a noite e, considerando a densidade do betão, necessita de mais energia para aquecer e

atingir as temperaturas dos demais elementos da fachada daí se apresentar como uma zona mais fria no termograma.

Com os dados apresentados na Tabela 27 realizou-se um gráfico para perceber a tendência da evolução das temperaturas em ambos os elementos construtivos ao longo do tempo e o resultado segue-se na Figura 41.

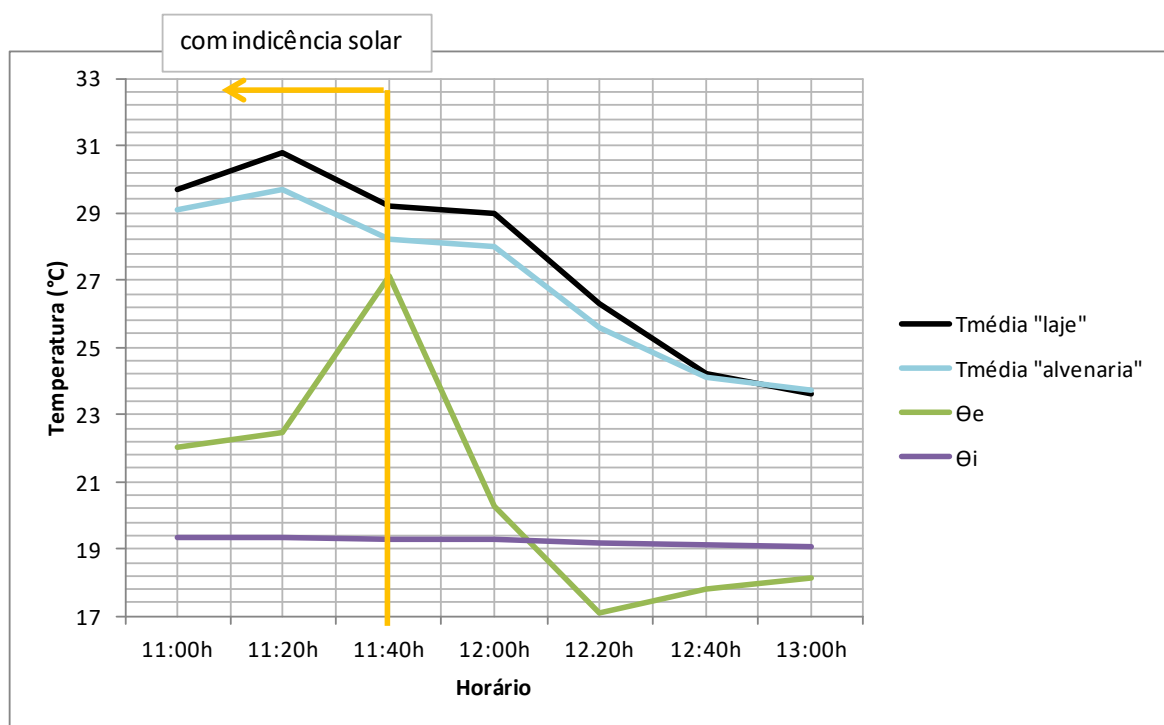


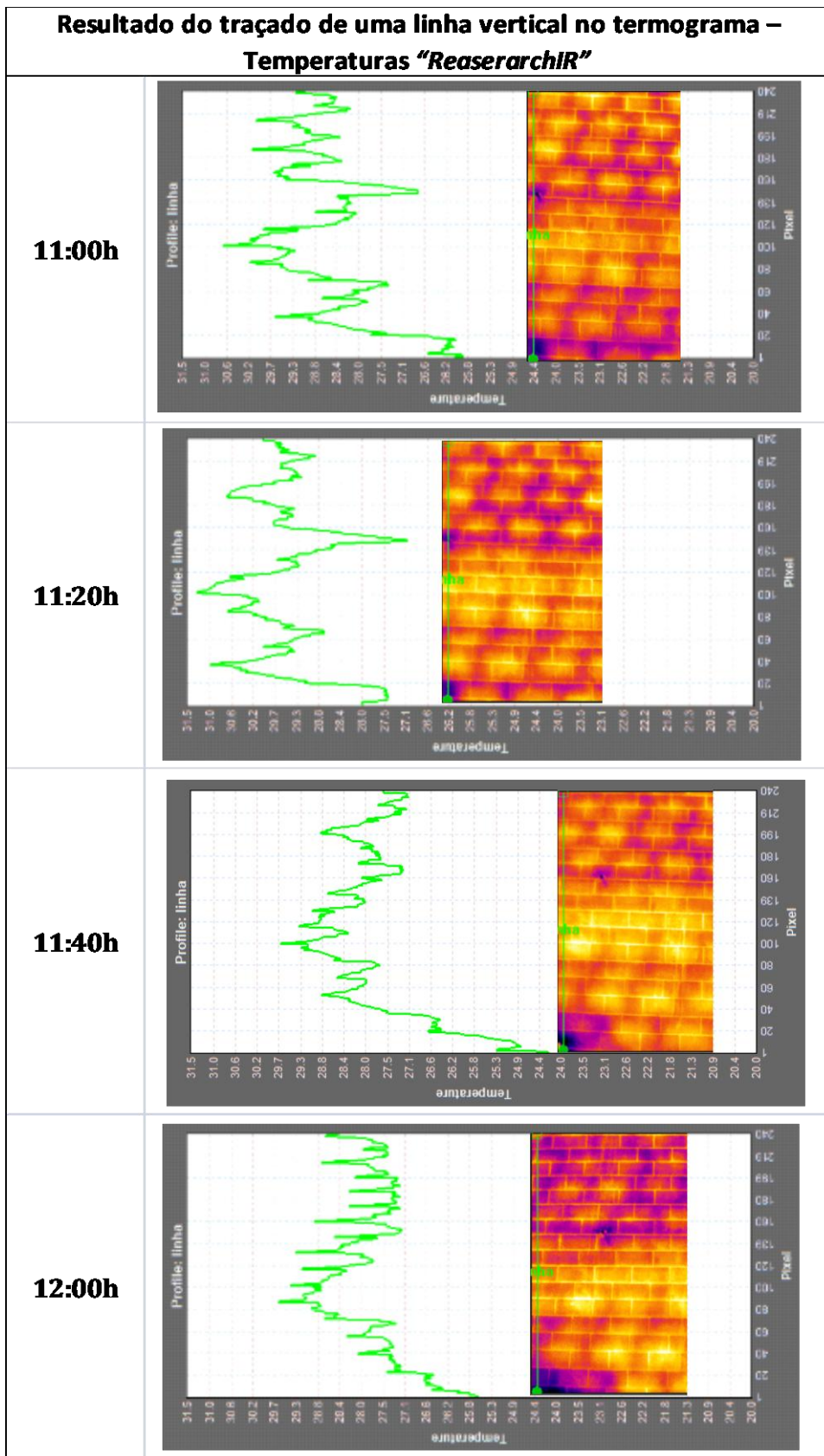
Figura 41- Gráfico com a evolução das temperaturas médias registadas na zona 12 ao longo do tempo.

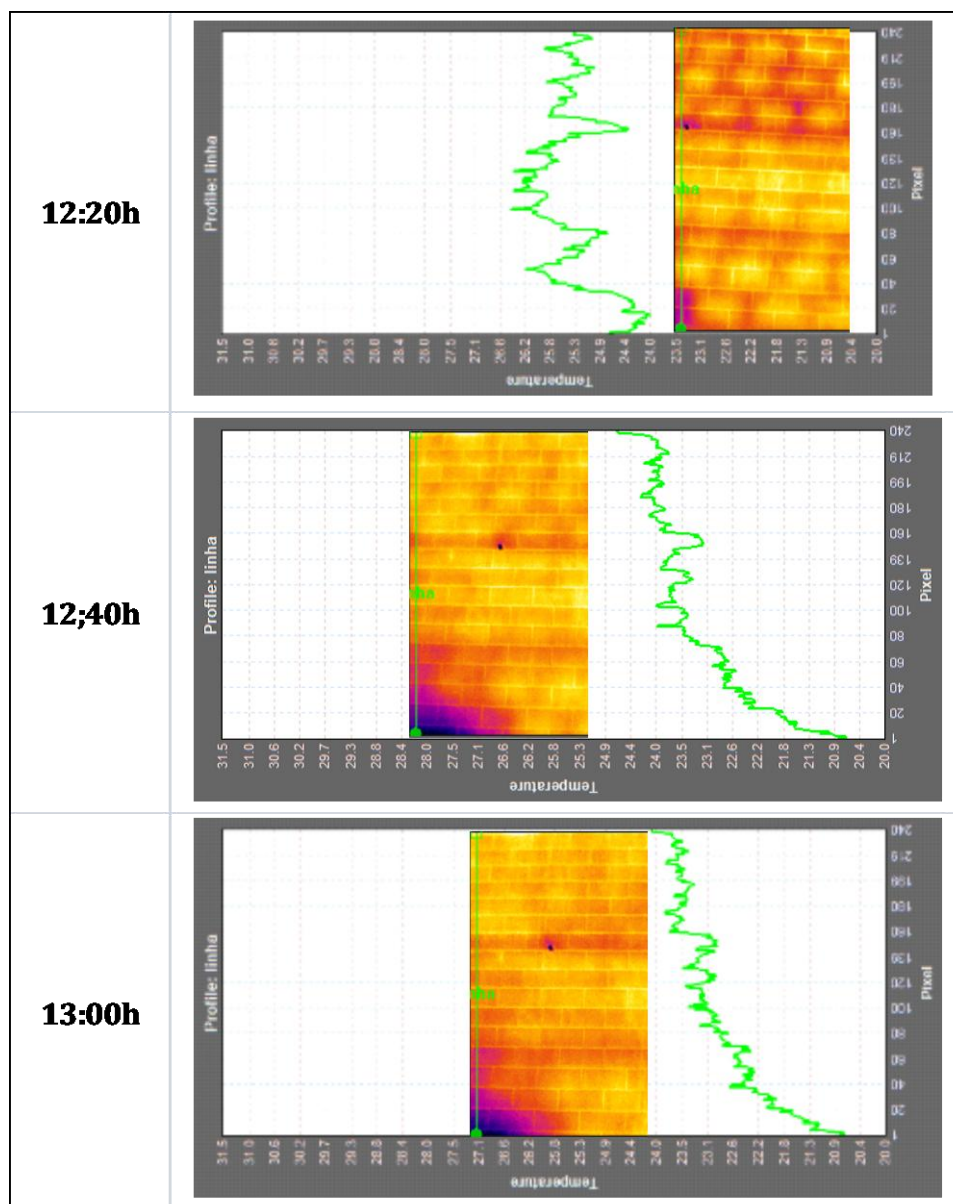
Da observação do gráfico algo que se conclui imediatamente é que no início do ensaio, a alvenaria já possuía uma temperatura menor que a zona da laje, dado que arrefeceu mais durante a noite do que a zona da laje. E ainda o facto de, no final, ambos os elementos chegarem ao equilíbrio.

É importante ter em conta que a zona da laje tem tendência a ser sempre o elemento mais quente porque consiste num elemento entre pisos e tem uma área exposta muito menor do que as restantes soluções, somente no seu topo e este, neste caso, ainda possui uma correção simples de pontes térmicas. Consiste assim num elemento que somente contacta diretamente com o revestimento da fachada no topo, ficando sempre mais protegido e sujeito a menos oscilações.

Durante a exposição solar da fachada os materiais foram absorvendo energia. No horário das 11:40h (fim da exposição solar) começa a ser notória a dissipação de energia para o ambiente com a tendência sempre para o equilíbrio entre as temperaturas sendo que a zona da laje emite mais energia que a zona da alvenaria pelo facto de também ser o elemento que estava mais quente.

Tabela 28-Traçado de linha vertical nos termogramas da Zona 12.





A montagem dos gráficos constantes da Tabela 28 que apresentam as temperaturas na linha vertical representada no termograma, serviram para perceber as diferenças entre as soluções construtivas.

Até ao horário das 11:40h, os gráficos mostram maiores diferenças de temperatura, entre os materiais, representadas pelos picos (onde estes representam a argamassa entre tijolos, zonas mais frias). Após este horário, os picos que vemos na figura também já são associados ao revestimento e, no horário das 13:00h, os picos no gráfico representam a diferença de temperaturas nos materiais de revestimento da fachada (material cerâmico e argamassa das juntas). A argamassa possui sempre uma temperatura ligeiramente superior ao elemento adjacente com características semelhantes, seja o revestimento cerâmico ou o tijolo cerâmico.

No período das 11:00h às 12:20h é possível identificar picos de temperatura nas zonas limite da laje que são resultado da argamassa colocada junto a laje para acabamento e início da aplicação do pano de tijolo.



## 5. Conclusões

### 5.1. Trabalho realizado

Este trabalho teve início com a atividade de pesquisa relacionada com parâmetros, conceitos e princípios relevantes para a análise e interpretação das imagens termográficas. Parâmetros como a emissividade, refletividade dos materiais, a distância a câmara e o objeto e tipos de termografia, ativa e passiva, foram aprofundados no sentido de perceber a sua importância e influência no resultado final da imagem.

Num segundo momento foi realizado um teste em diversos edifícios no centro de Castelo Branco, com tipologias diferenciadas e de várias épocas, para se realizar um primeiro trabalho de análise qualitativa e relacionar os parâmetros inicialmente estudados com as imagens, percebendo-se a variação das temperaturas destas com o real comportamento dos elementos. Este trabalho inicial já permitiu a identificação clara de materiais, soluções construtivas e alterações decorrentes de intervenções no edificado existente.

Finalmente recorreu-se a um caso de estudo, explorado de forma mais específica, com a realização de ensaios que foram comparados com os termogramas captados, sendo estes analisados a partir de um programa informático. Estes ensaios foram realizados em períodos de tempo, com medições em intervalos regulares, que permitiram analisar a variação ao longo do tempo e relacionando-as com as diferentes densidades dos materiais.

### 5.2. Conclusões gerais

Em termos globais, a utilização da termografia pode ser vantajosa na caracterização do edificado existente. A sua utilização permitiu identificar materiais e soluções construtivas, assim como elementos de ligação e fragilidades na envolvente exterior.

Todos os ensaios foram realizados recorrendo-se à termografia ativa, onde se utilizou o sol como fonte de energia para aquecer os elementos, verificou-se que em relação à emissividade, e visto estarmos a analisar materiais de construção que apresentam geralmente valores de emissividade entre os 0,90 e 0,95, foi um fator de pouco impacto no resultado final. No que diz respeito à distância entre a câmara e objeto, verificou-se que se obtinha muito mais definição e pormenor ao analisar elementos cuja captação da imagem fosse mais próxima.

Numa primeira abordagem onde se avaliaram os termogramas qualitativamente verificou-se a facilidade em caracterizar as soluções construtivas e as intervenções construtivas realizadas no edificado existente.

Numa segunda abordagem, avaliou-se um caso de estudo de forma quantitativa ao longo do tempo nas várias fachadas, observando o processo de arrefecimento e de aquecimento nas fachadas com diferentes orientações. Foi estudado o comportamento de duas soluções construtivas diferenciadas, a solução original do edifício e uma intervenção feita posteriormente.

Foram realizados com o mesmo caso de estudo 5 ensaios com a escolha de Zonas onde foram captados termogramas em intervalos de tempo regulares, os primeiros três ensaios foram realizados em fachadas com orientações solares diferentes, os últimos dois ensaios foram efetuados como repetição de termogramas em duas zonas do ensaio 1. Nos primeiros ensaios analisou-se a influência das densidades dos materiais, o fluxo de calor na fachada e compararam-se as temperaturas superficiais obtidas pela medição em tempo real com as temperaturas obtidas através da radiação captada nos termogramas. Nos dois últimos ensaios estudou-se a diferença de fluxo na mesma fachada mas com soluções construtivas diferentes. Todos os ensaios estão na íntegra nos anexos seguintes.

Foram apenas analisados alguns pontos e alguns ensaios. Em relação à orientação solar em fachadas orientadas a norte, com a técnica utilizada, não se verificaram quaisquer resultados, pois devido à orientação solar o elemento não recebia radiação e conseqüentemente não apresentava variações de temperatura elevadas.

Das restantes fachadas foram apenas analisados pontos naquelas orientadas a Este e a Sul.

A termografia capta a energia infravermelha que é transformada em temperaturas pela câmara termográfica, ao aplicar esta definição na análise das fachadas de edifícios o termograma vai dar temperaturas relativas do material que emite mais radiação, ou seja, que tem uma temperatura superior.

Em relação aos resultados obtidos sobre a comparação entre a temperatura superficial do elemento e as temperaturas obtidas pelos termogramas, nos termogramas geralmente obtiveram-se valores superiores de temperatura do que nas medições com os termopares. Os resultados de ambos os métodos são mais próximos quando a termográfica esta a captar a energia irradiada pelo material de revestimento, porque deste modo ambas as temperaturas estão a ser medidas no mesmo elemento.

Constatou-se que a temperatura dos elementos varia consoante a temperatura no início do ensaio, a incidência de radiação solar, a área de superfície exposta ao exterior e interior e à densidade do material principalmente.

Em relação á densidade do material, materiais mais densos precisam de mais tempo para aquecer e conseguem armazenar mais energia.

Na análise à fachada com a solução construtiva original e à fachada com a aplicação do isolamento percebe-se pelo interior, que a termografia fica condicionada devido à presença de materiais isolantes.

Em suma, a utilização da termografia como uma técnica de inspeção, manutenção e fiscalização, de um modo não destrutivo, tem um grande potencial na construção. Permite perceber a constituição do edificado existente, deteta zonas de transição de soluções construtivas diferentes pela variação das temperaturas.

Ao nível da fiscalização permite, em alguns casos, perceber se os edifícios foram alvos de alterações ou ampliações. No que se refere à inspeção permite que, em edifícios sem qualquer projeto, seja possível identificar características construtivas, perceber o interior da estrutura, medir constituintes dos elementos possibilitando a adaptação de soluções de reparação compatíveis com os elementos existente.

### **5.3. Trabalhos futuros**

Para trabalhos futuros sugere-se a análise mais profunda de elementos homogéneos que apresentaram variações na termografia que poderiam indicar casos de patologias como humidades e fissuras.

Seria também pertinente aprofundar a relação entre a densidade dos materiais e os termogramas.

E por último, visto que no dia-a-dia a aplicação de isolamentos pelo exterior das fachadas está muito usual, aprofundar os resultados que se conseguiriam obter em fachadas com estes tipos de solução construtivas.



## Referências

ANHAS, Francisca Vilas Lages. Emissividade de materiais de construção. Métodos de determinação e influência da humidade. (2018) Tese de Mestrado, Faculdade de engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal.

BARREIRA, Eva. Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios. (2004) Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

BOUÉ, Christine; FOURNIER, D. Infrared thermography measurement of the thermal parameters (Effusivity, diffusivity and conductivity) of materials. QIRT Journal. Volume 6 – N° 2/2009, pages 175 to 188.

CLARK, M.R - Application of infrared thermography to the non-destructive testing of concrete and masonry bridges. NDT & E International. Vol.36 (2003), p.265-275. [Consult. 17 agosto 2018]

Disponível na internet:< <https://www.sciencedirect.com>>

DINIS, Bernardete. Termografia aplicada á física das construções. (2009) Tese de mestrado, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal.

FERREIRA Ana; FERREIRA Pedro; MARCELINO Cátia- Identificação de soluções construtivas com a utilização da termografia. Iceubi (2019), p.1-8.

FLIR system,2011. Manual do utilizador.

FOX, Matthew; COLEY, David; GOODHEWA, Steve; WILDE, Pieter. Thermography methodologies for detecting energy related building defects. Renewable and Sustainable Energy Reviews 40 (2014) 296–310

GAUSSORGUES, Gilbert, La thermographie infrarouge – Principes, Technologies, Application 4<sup>a</sup> ed. (1999) Technique et Documentation Lavoisier, Paris.

MALDAGUE, X.P.V. Introduction to NDT by Active Infrared Thermography. Materials Evaluation 60(9), ( 2002).

MENDONÇA, Luís Veigas - Termografia por infravermelhos, inspeção de betão. Engenharia & vida. N.º16 (2005), p.53-57. [Consult. 30 julho 2018]

Disponível na internet:< <http://www.spybuilding.com>>

Nasa Science. Infrared Waves. [Consult. 01 outubro 2019]

Disponível na internet:< [https://science.nasa.gov/ems/07\\_infraredwaves](https://science.nasa.gov/ems/07_infraredwaves)>

PEREIRA, João Crisóstomo Alves. Contribuição para a análise de manifestações patológicas em madeira na construção com recurso à termografia. (2014) Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Escola Superior tecnológica, Castelo Branco, Portugal.

PLEȘU, Raluca et al. Infrared thermography application for building investigation.(2012).Universitate Technica Gheorge Asachi din Iasi.

SANTOS, Maria da Conceição Formoso Nobre. Uso da termografia para caracterizar qualitativamente fachadas de edifícios. (2014) Tese de Mestrado, Faculdade de ciências e tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

Soladrilhos. [Consult. 01 janeiro 2020]

Disponível na internet:< <https://soladrilho.pt/pavimento/>>

TEIXEIRA, Gabriela; BELÉM, Margarida. Diálogos de Edificação – Técnicas Tradicionais de Construção.(1998) CRAT Centro Regional de Artes Tradicionais, Porto.

USAMENTIAGA, Rubén; VENEGAS, Pablo; GUEREDIAGA, Jon; VEJA, Laura; MOLLEDA, Julio; BULNES, Francisco G. Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing. Sensors (2014), 14, 12305-12348; doi:10.3390/s140712305

## Anexos



## Anexo A- Caracterização do Caso de Estudo

O edifício localiza-se em Castelo Branco e pertence à Escola Superior de Tecnologia, sendo que a sua construção foi concluída em 1999.

A construção desenvolve-se em dois níveis, sendo que o rés-do-chão encontra-se a duas cotas, a mais baixa é utilizada para o laboratório e a mais alta para gabinetes e armazém; o 1º andar é ocupado com gabinetes de docentes e salas de aula.

A estrutura do edifício foi executada em betão armado com fachadas em tijolo (parede dupla com caixa de ar). O tratamento das pontes térmicas foi feito através da correção simples das vigas, pilares e topo de lajes. A figura seguinte demonstra os pormenores construtivos citados.

O peitoril foi executado em betão, sendo que as caixilharias são em alumínio com vidro duplo. (Figura 42 a)

A platibanda foi executada em alvenaria e a cobertura é revestida com telhas de fibrocimento. (Figura 42 b)

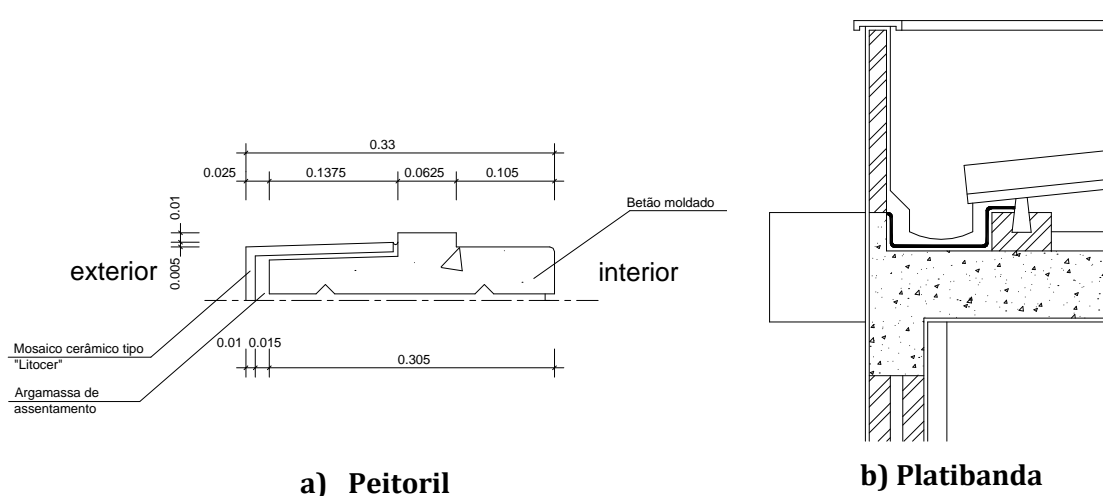


Figura 42- Pormenor construtivo do peitoril e da platibanda.

Recentemente o edifício sofreu obras de manutenção, no entanto antes destas, era possível observar anomalias ligadas a humidades, localizadas essencialmente nas paredes em contacto com o exterior e em alguns casos no teto, os laboratórios localizados no piso 0 caracterizavam-se por humidade nos pavimentos, em algumas salas eram visíveis fissuras e pelo exterior caso que ainda se constata esta a existir um destacamento do revestimento exterior.

Seguem-se plantas e alçados relativos ao edifício.

### Plantas Bloco D, Escola Superior Tecnológica

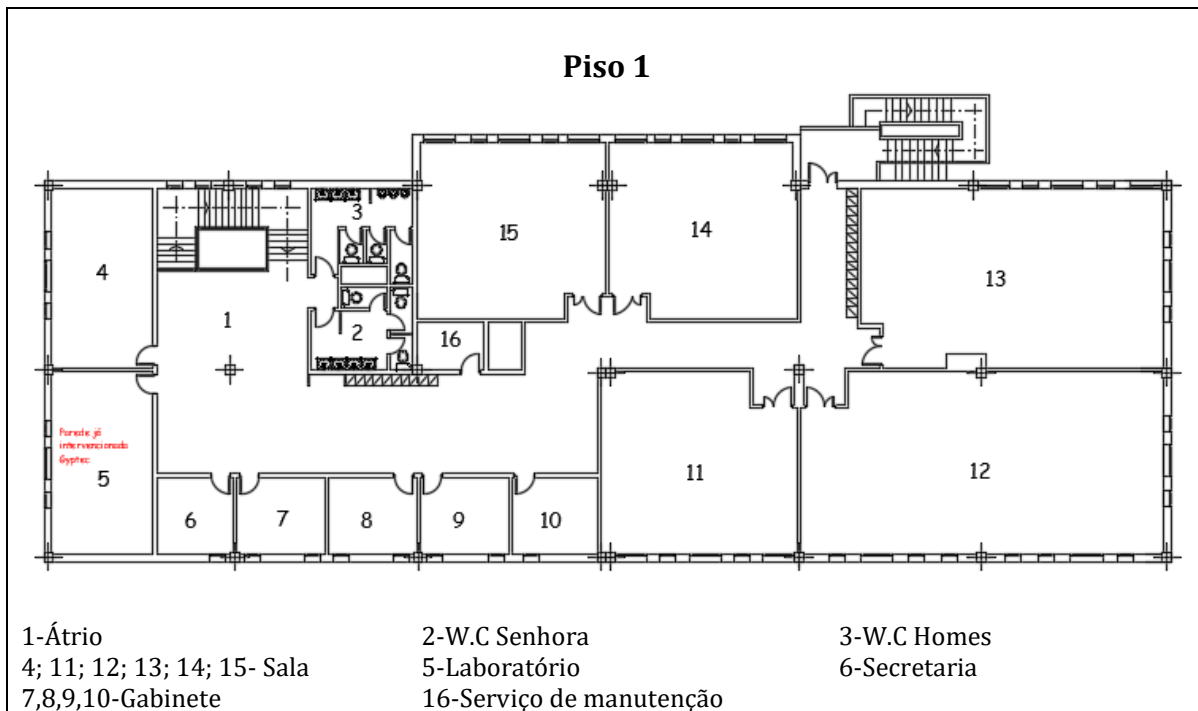
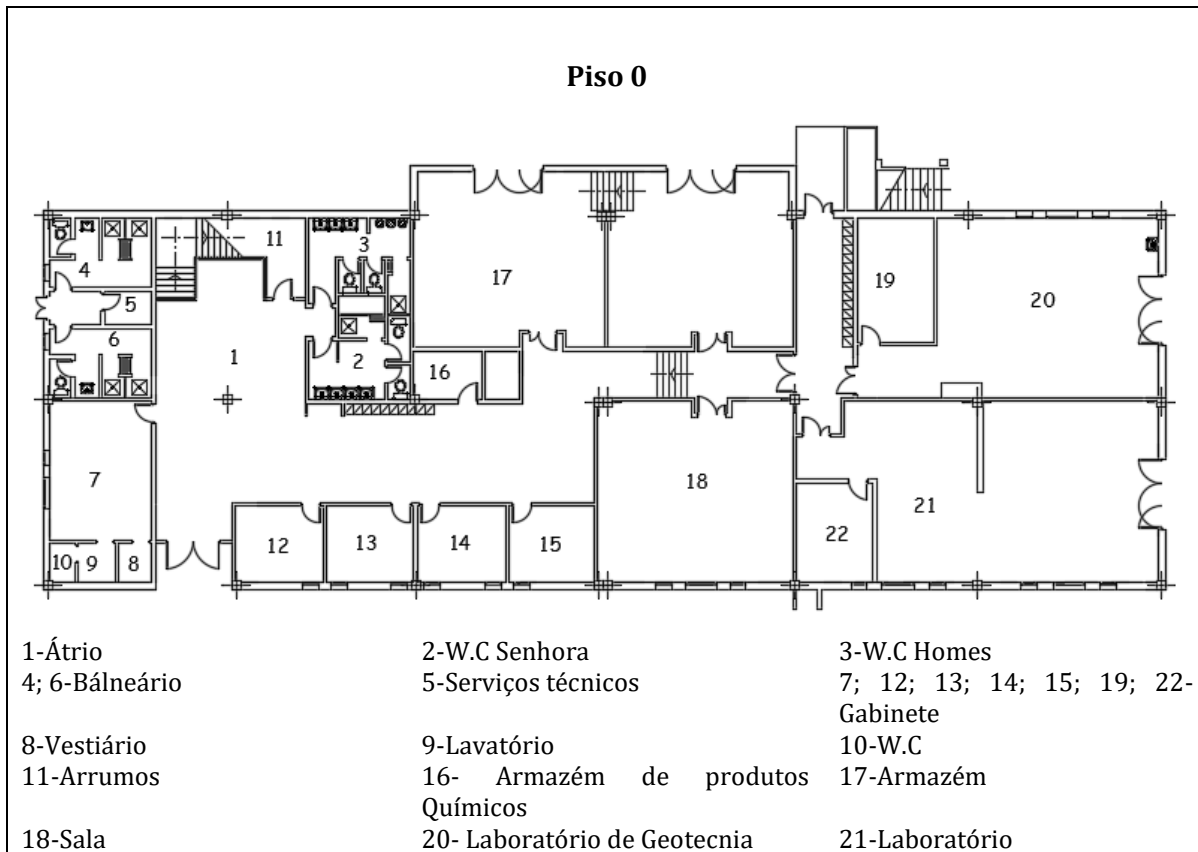
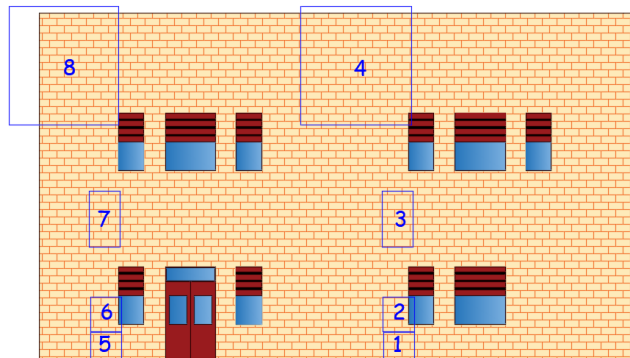


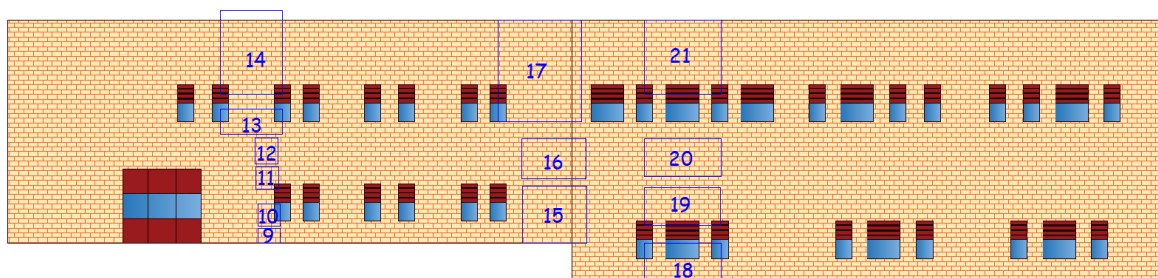
Figura 43-Plantas do Bloco D.

## Alçados Bloco D, Escola Superior Tecnológica Com representação de Zonas analisadas

### Alçado SUL



### Alçado ESTE



### Alçado OESTE

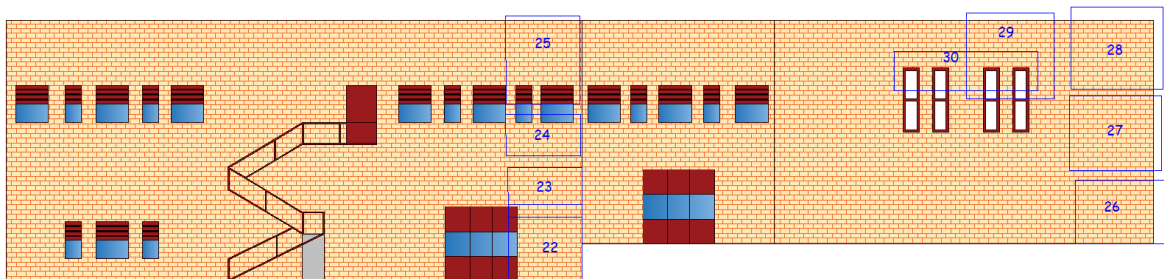


Figura 44-Alçados do Bloco D com a indicação das Zonas estudadas, EST,IPC.B.



## Anexo B- Ensaio 1

Data do ensaio	Intervalos de medição	Local	Zonas
05/04/2018	30 em 30 minutos	Fachada SUL	8

O ensaio 1, foi realizado pelo exterior do edifício na **fachada SUL** do bloco D, da escola superior tecnológica de Castelo Branco.

Foram captadas imagens sequenciais em 8 zonas da fachada esquematizadas na Figura 45. As medições realizadas no momento com os termopares abrangeram apenas uma a Zona 2, e durante todo o ensaio permaneceram no mesmo sítio apesar de os termogramas terem sido captados em 8 zonas diferentes da fachada.

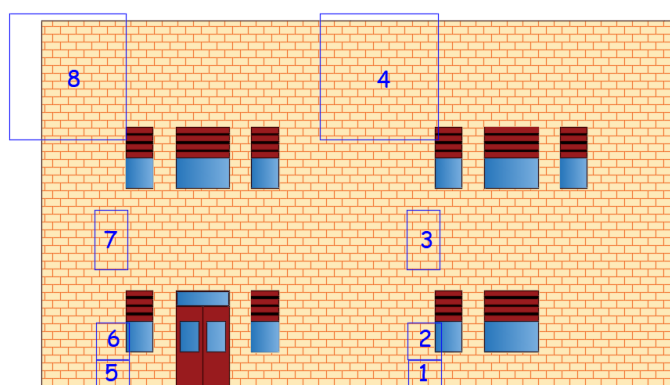


Figura 45- Localização das áreas relativas a cada ponto captado.

Segue-se a Tabela 29 com o registo das temperaturas superficiais medidas na Zona 2, temperaturas ambiente, humidade relativa e uma nota que se prende com o facto de o elemento estar exposto a incidência solar ou não denotando se o elemento estava numa fase de aquecimento ou arrefecimento. E a Tabela 30 com os termogramas captados nas diferentes zonas e intervalados de 30 em 30 minutos ao longo de 2 horas.

Tabela 29-Parâmetros medidos.

Horário	$\Theta_e$ (°C)	HRe (%)	$\Theta_i$ (°C)	$\Theta_{se}$ (°C)	$\Theta_{si}$ (°C)	Nota: Incidência solar
18:08h	20,74	43,00	19,37	28,61	19,90	Sim
18:38h	19,40	47,00	18,90	26,52	18,81	Não
19:08h	18,50	47,70	19,00	25,27	18,68	Não
19:38h	18,00	52,00	19,12	24,44	18,72	Não
20:08h	17,20	55,80	19,19	23,86	18,83	Não

Temperatura ambiente exterior ( $\Theta_e$ ), temperatura ambiente interior ( $\Theta_i$ ), humidade relativa exterior (HRe), temperatura superficial exterior ( $\Theta_{se}$ ) e temperatura superficial interior ( $\Theta_{si}$ ).

Tabela 30- Imagens termográficas captadas o ensaio 1.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8
Horário								
18:08h								
18:38h								
19:08h								
19:38h								
20:08h								

## Anexo C- Ensaio 2

Data do ensaio	Intervalos de medição	Local	Zonas
14/04/2018	20 em 20 minutos	Fachada ESTE	13

O ensaio 2, foi realizado pelo exterior do edifício na **fachada Este** do bloco D.

Foram captadas imagens sequenciais em 13 zonas da fachada esquematizadas na figura 46. As medições realizadas no momento com os termopares abrangeram apenas uma a Zona 10, e durante todo o ensaio permaneceram no mesmo sítio apesar de os termogramas terem sido captados em 13 zonas diferentes da fachada. As zonas analisadas foram escolhidas de modo a captar diferentes elementos construtivos, zonas de ligação entre caixilharias e fachada e ligação entre o solo e a fachada.

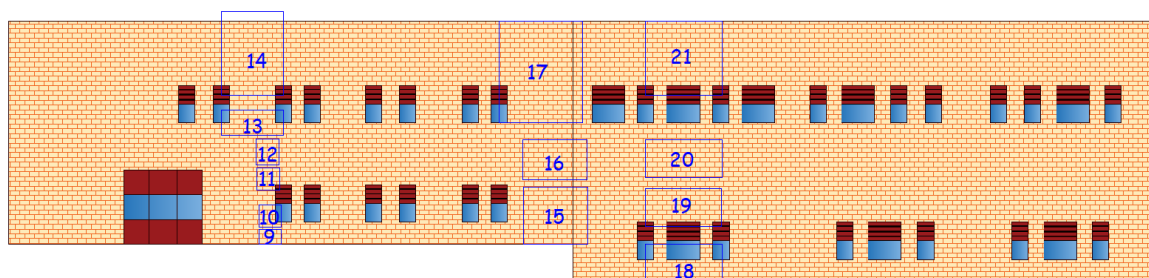


Figura 46- Localização das áreas relativas a cada ponto captado.

Segue-se a Tabela 31 com o registo das temperaturas superficiais medidas na Zona 10, temperaturas ambiente, humidade relativa e uma nota que se prende com o facto de o elemento estar exposto a incidência solar ou não denotando se o elemento estava numa fase de aquecimento ou arrefecimento.

Tabela 31- Parâmetros medidos.

Horário	$\Theta_e$ (°C)	HRe (%)	$\Theta_i$ (°C)	$\Theta_{se}$ (°C)	$\Theta_{si}$ (°C)	Nota: Incidência solar
11:00h	22,05	44,35	19,34	18,24	17,00	Sim
11:20h	22,48	44,68	19,33	17,24	17,07	Sim
11:40h	27,12	34,30	19,27	16,60	17,21	Sim
12:00h	20,30	47,20	19,29	15,66	17,38	Não
12:20h	17,10	55,13	19,19	15,38	17,41	Não
12:40h	17,79	55,00	19,14	15,56	17,60	Não
13:00h	18,12	52,55	19,07	15,80	17,68	Não

Temperatura ambiente exterior ( $\Theta_e$ ), temperatura ambiente interior ( $\Theta_i$ ), humidade relativa exterior (HRe), temperatura superficial exterior ( $\Theta_{se}$ ) e temperatura superficial interior ( $\Theta_{si}$ )

Nas tabelas seguintes estão registados todos os termogramas captados nas diferentes zonas e intervalados de 20 em 20 minutos ao longo de 2 horas.

Tabela 32- Imagens termográficas captadas o ensaio 2.

	Zona 9	Zona 10	Zona 11	Zona 12	Zona 13	Zona 14
Horário						
11:00h						
11:20h						
11:40h						
12:00h						
12:20h						
12:40h						
13:00h						

Tabela 33- Imagens termográficas captadas o ensaio 2.


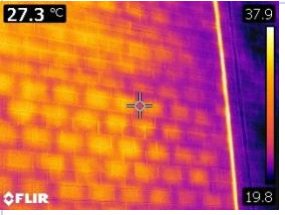
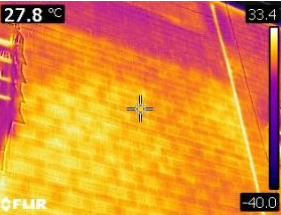

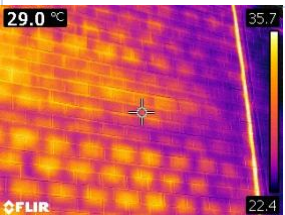
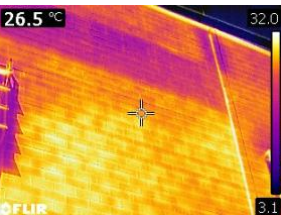

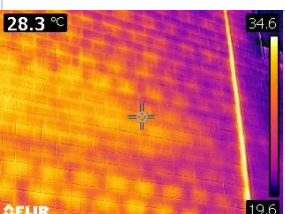




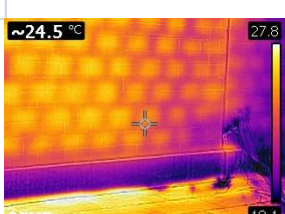
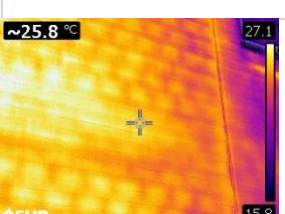

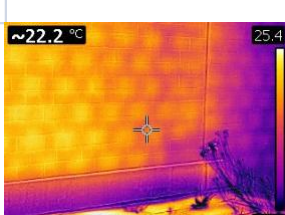
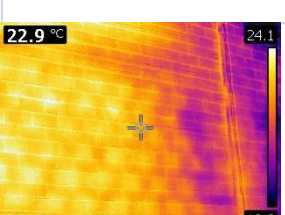
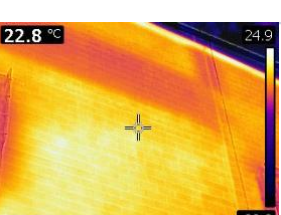
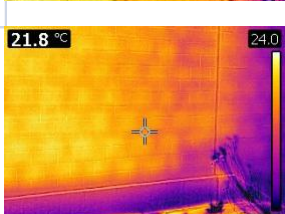
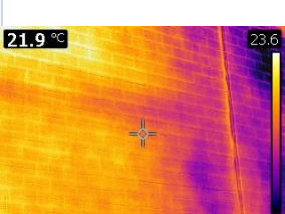
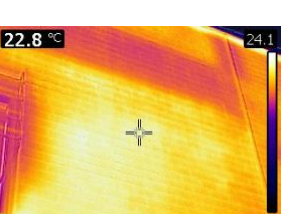

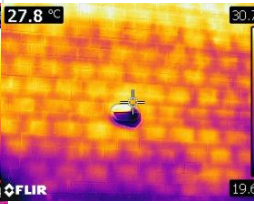
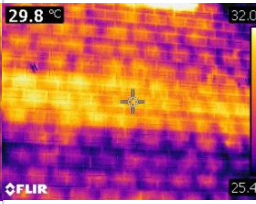






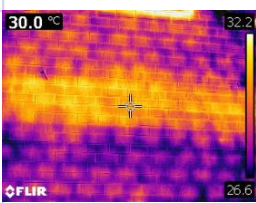



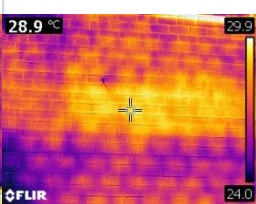



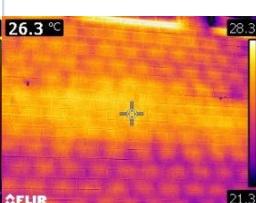



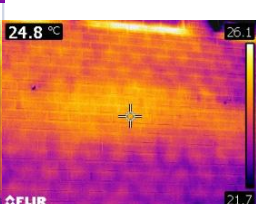





Horário	Zona 15	Zona 16	Zona 17
11:00h			
11:20h			
11:40h			
12:00h			
12:20h			
12:40h			
13:00h			

Tabela 34- Imagens termográficas captadas o ensaio 2.

Horário	Zona 18	Zona 19	Zona 20	Zona 21
11:00h				
11:20h				
11:40h				
12:00h				
12:20h				
12:40h				
13:00h				

## Anexo D- Ensaio 3

Data do ensaio	Intervalos de medição	Local	Zonas
14/04/2018	20 em 20 minutos	Fachada OESTE	9

O ensaio 3, foi realizado pelo exterior do edifício na **fachada Oeste** do bloco D.

Foram captadas imagens sequenciais em 9 zonas da fachada esquematizadas na Figura 47. As medições realizadas no momento com os termopares abrangeram apenas uma a Zona 24, e durante todo o ensaio permaneceram no mesmo sítio apesar de os termogramas terem sido captados em 13 zonas diferentes da fachada.

Para esta fachada não houve nenhum estudo aprofundado apenas este registo em anexo. Poderá ser alvo de trabalhos futuros pois foram captadas imagens que à vista desarmada nada aparenta, no entanto, com a termografia é possível distinguir zonas diferenciadas que têm algum significado. Essas zonas com padrões de termografia heterogéneos poderiam indicar, depois de uma análise mais exaustiva, por exemplo, a presença de uma patologia.

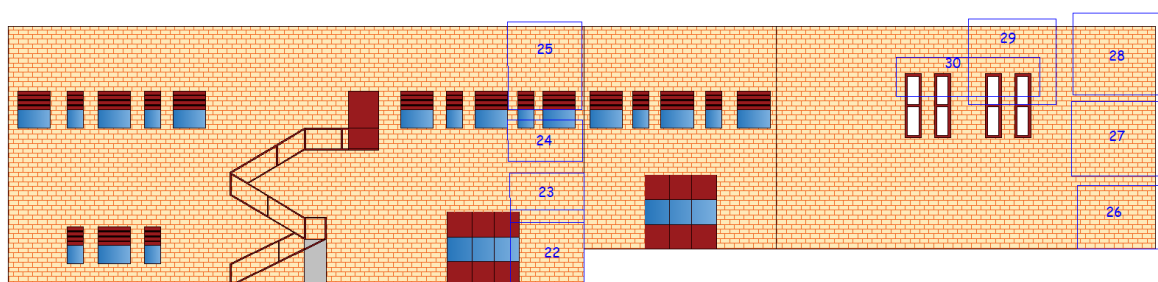


Figura 47- Localização das áreas relativas a cada ponto captado.

Segue-se a Tabela 35 com o registo das temperaturas superficiais medidas na Zona 24, temperaturas ambiente, humidade relativa e uma nota que se prende com o facto de o elemento estar exposto a incidência solar, neste caso denotando-se que o elemento estava numa fase de aquecimento.

Tabela 35- Parâmetros medidos.

<b>Horário</b>	<b><math>\Theta_e</math> (°C)</b>	<b>HRe (%)</b>	<b><math>\Theta_i</math> (°C)</b>	<b><math>\Theta_{se}</math> (°C)</b>	<b><math>\Theta_{si}</math> (°C)</b>	<b>Nota: Incidência solar</b>
<b>15:25h</b>	21,36	47,50	18,68	22,42	17,34	Não
<b>15:45h</b>	24,50	37,00	18,62	22,27	17,65	Sim
<b>16:05h</b>	Não houve resultados					
<b>16:25h</b>	Não houve resultados					
<b>16:45h</b>	21,60	41,50	19,62	24,70	19,07	Sim
<b>17:05h</b>	23,20	37,68	20,00	25,62	19,66	Sim
<b>17:25h</b>	24,00	37,40	19,91	26,73	20,17	Sim
<b>17:45h</b>	22,50	39,00	19,88	27,54	20,79	Sim
<b>18:05h</b>	21,00	40,00	19,95	28,09	21,31	Sim
<b>18:25h</b>	19,50	44,30	20,02	28,24	21,85	Sim
<b>18:45h</b>	18,86	46,32	20,11	28,27	22,30	Sim
<b>19:05h</b>	18,75	47,02	20,24	27,96	22,74	Sim
<b>19:25h</b>	17,31	50,93	20,49	27,44	23,11	Sim

Temperatura ambiente exterior ( $\Theta_e$ ), temperatura ambiente interior ( $\Theta_i$ ), humidade relativa exterior (HRe), temperatura superficial exterior ( $\Theta_{se}$ ) e temperatura superficial interior ( $\Theta_{si}$ )

Na tabela 36, 37 e 38 estão representados os termogramas captados nas diferentes zonas e intervalados de 20 em 20 minutos ao longo de 4 horas num processo de aquecimento da fachada.








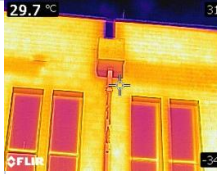







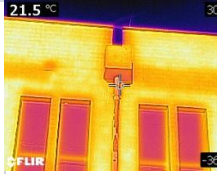



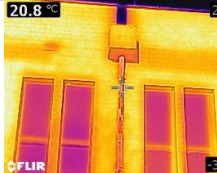
Tabela 36- Imagens termográficas captadas o ensaio 3.

	Zona 22	Zona 23	Zona 24	Zona 25
<b>Horário</b>				
<b>15:25h</b>				
<b>15:45h</b>				
<b>16:05h</b>				
<b>16:45h</b>				
<b>17:05h</b>				
<b>17:25h</b>				
<b>17:45h</b>				
<b>18:05h</b>				
<b>18:25h</b>				
<b>18:45h</b>				
<b>19:05h</b>				
<b>19:25h</b>				

Tabela 37- Imagens termográficas captadas o ensaio 3.

Horário	Zona 26	Zona 27	Zona 28
15:25			
15:45			
16:05			
16:45			
17:05			
17:25			
17:45			
18:05			
18:25			
18:45			
19:05			
19:25			

Tabela 38- Imagens termográficas captadas o ensaio 3.

	Zona 29	Zona 30			
<b>Horário</b>			<b>18:05h</b>		
<b>16:45h</b>			<b>18:25h</b>		
<b>17:05h</b>			<b>18:45h</b>		
<b>17:25h</b>			<b>19:05h</b>		
<b>17:45h</b>			<b>19:25h</b>		



## Anexo E- Ensaio 4

Data do ensaio	Intervalos de medição	Local	Zonas
20/07/2019	15 em 15 minutos	Fachada SUL	2

O ensaio 4, foi realizado na **fachada SUL** do bloco D.

Neste ensaio inverteu-se o fluxo de calor na parede passou a estar mais frio no interior que no exterior. Foram selecionadas duas zonas para captação de imagens termográficas e onde foram colocados termopares para medições de temperatura, uma no piso1 na parede intervencionada com o *gypcork* e outra no piso 0 na parede de construção original.

Foi ligado o ar condicionado para o frio em ambas as salas, ambos na potência máxima (de referir que os aparelhos de ar condicionado são de iguais características) aquando a primeira captação de termograma.

Houve o cuidado de registar a temperatura exterior com o termohigrómetro na sombra para não haver influência da radiação solar.

Os termopares foram protegidos com 1cm de EPS para não haver interferência de agentes exteriores.

O objetivo foi conseguir temperaturas mais baixas no interior que no exterior, que com o ar condicionado era possível controlar, e analisar termogramas tirados aproximadamente no mesmo sítio pelo exterior e pelo interior da parede.

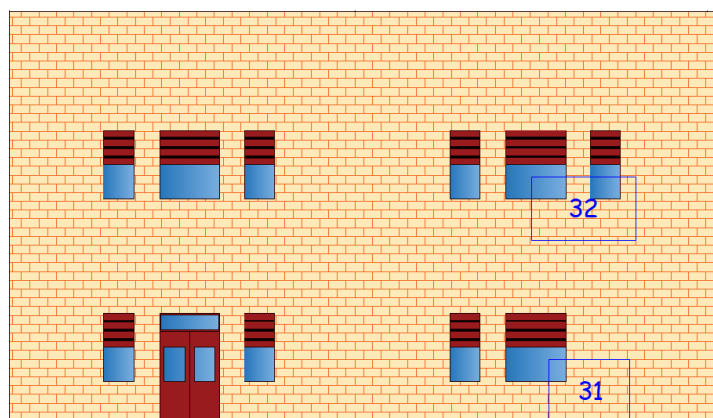


Figura 48- Localização das áreas relativas a cada ponto captado.

Na Tabela 40 estão registadas as temperaturas medidas na Zona 31 e 32 identificados como “Z 31” e “Z 32” respetivamente, as temperaturas ambiente e humidade relativa em ambas as salas dos diferentes pisos.

Tabela 39- Parâmetros medidos.

Horário	$\theta_e$	HRe	$\theta_i$ (Z31)	$\theta_i$ (Z32)	$\theta_{se}$ (Z31)	$\theta_{se}$ (Z32)	$\theta_{si}$ (Z31)	$\theta_{si}$ (Z32)	Nota: Incidência solar
	(°C)	(%)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	
10:00h	30,10	35,87	27,50	29,22	29,31	34,63	27,72	31,00	Sim
10:15h	28,80	36,21	26,18	27,35	30,81	31,8	27,18	30,05	Sim
10:30h	29,06	37,00	25,84	26,9	31,95	29,63	26,51	29,69	Sim
10:45h	29,75	36,60	26,08	26,58	33,4	27,44	26,20	29,31	Sim
11:00h	30,39	34,20	26,93	26,43	34,55	25,28	25,97	29,03	Sim
11:15h	30,69	34,15	26,20	26,17	36,11	23,37	25,75	28,89	Sim
11:30h	30,80	32,00	24,45	25,99	37,16	21,64	25,64	28,84	Sim
11:45h	30,79	31,40	24,99	25,82	38,37	19,86	25,33	28,62	Sim
12:00h	31,05	31,00	24,06	25,69	39,45	18,4	25,06	28,63	Sim

Temperatura ambiente exterior ( $\theta_e$ ), temperatura ambiente interior ( $\theta_i$ ), humidade relativa exterior (HRe), temperatura superficial exterior ( $\theta_{se}$ ) e temperatura superficial interior ( $\theta_{si}$ )

Seguem-se a Tabela 40 e 41 com as imagens termográficas captadas para a Zona 31 e 32, no interior e exterior da fachada em intervalos de tempo de 15 em 15 minutos durante 2 horas.

Tabela 40- Imagens termográficas captadas o ensaio 4.

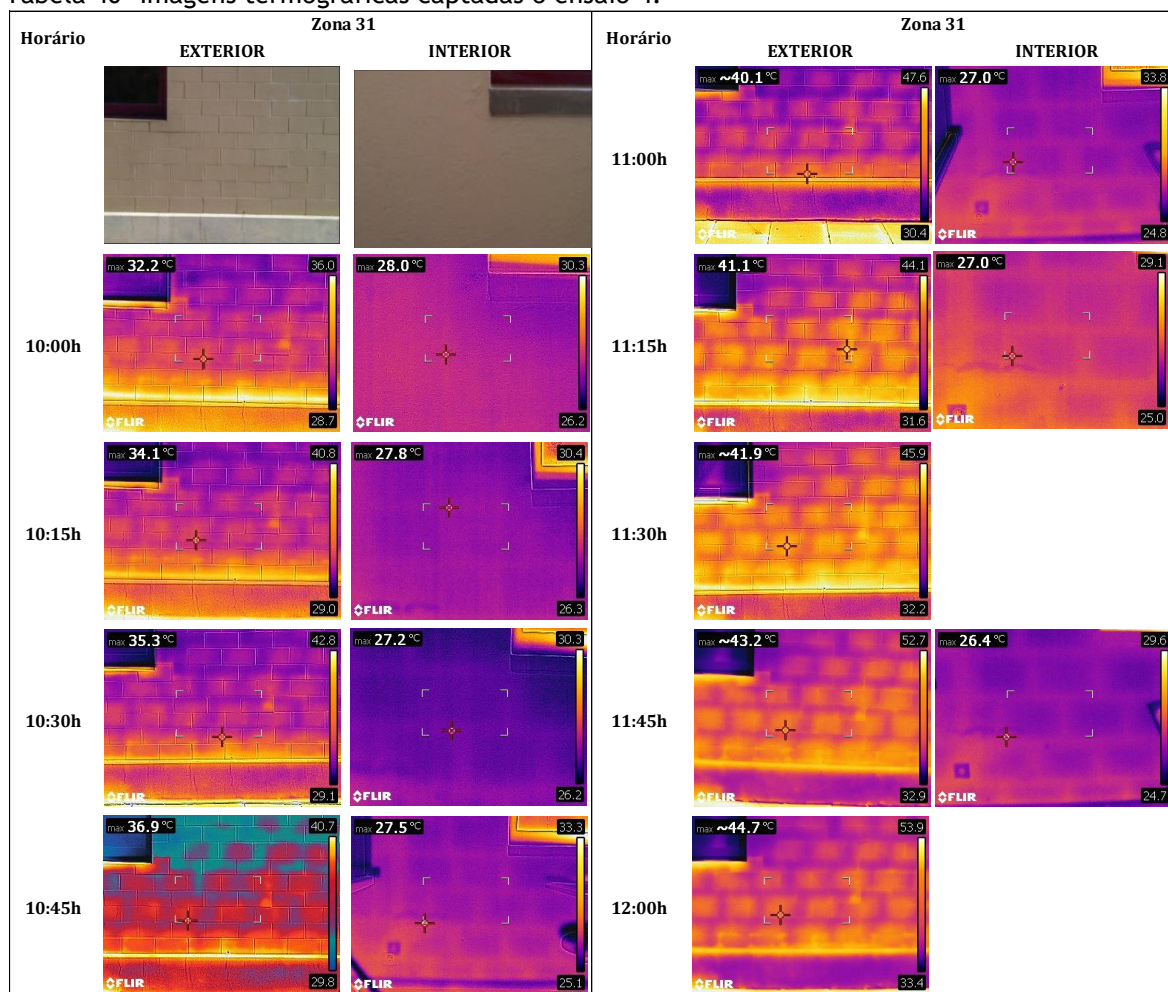
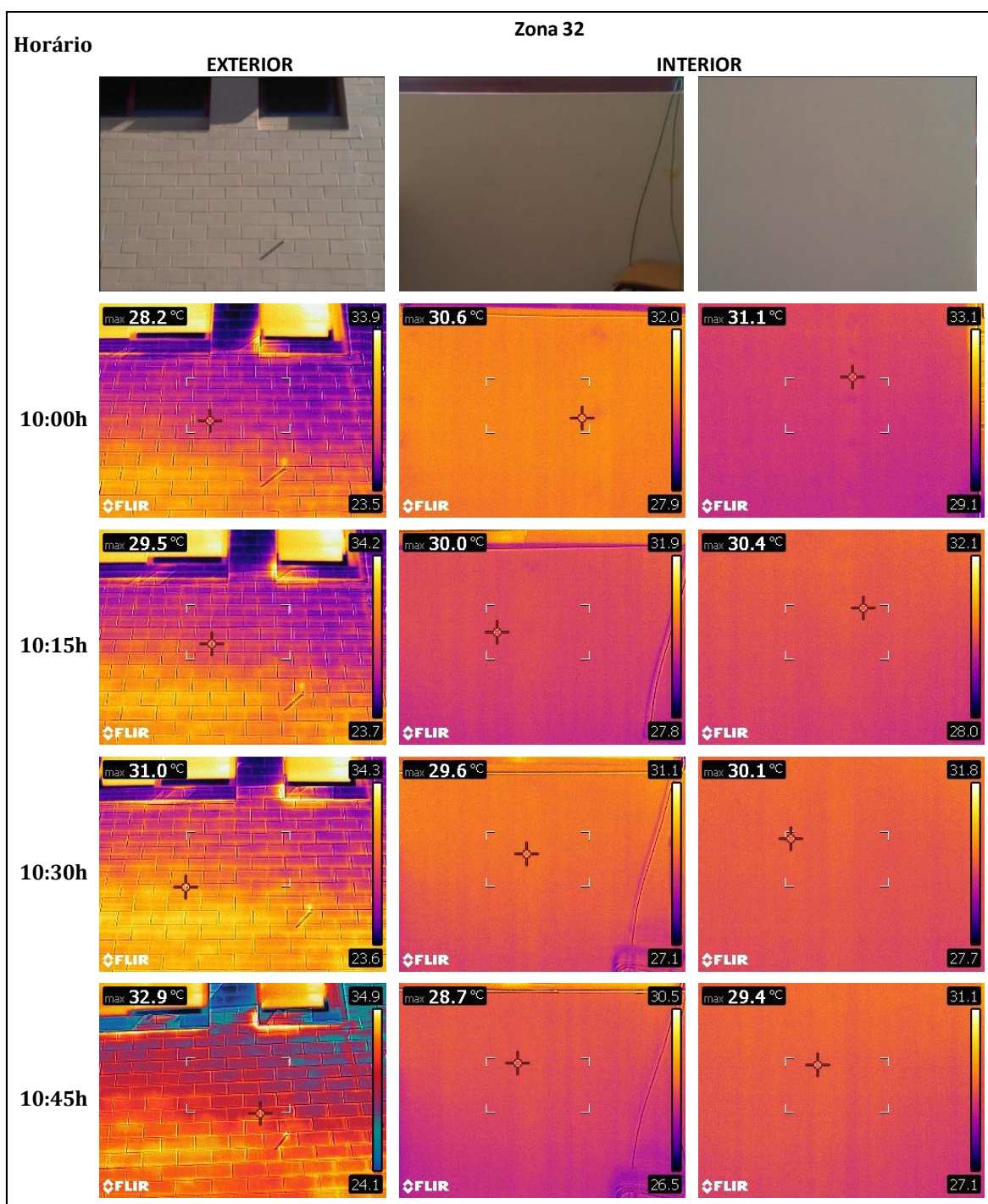


Tabela 41- Imagens termográficas captadas o ensaio 4-Zona 32.



Na Zona 32 apenas temos resultados até às 10:45h, a partir dessa hora não houveram mais captações pelo interior, por isso, os termogramas pelo exterior apenas não eram conclusivos e não estão apresentados.

Houve necessidade de repetir este ensaio para confirmar valores de temperatura medidos no local.



## Anexo F- Ensaio 5

Data do ensaio	Intervalos de medição	Local	Zonas
25/07/2019	15 em 15 minutos	Fachada SUL	1

O ensaio 5, foi realizado na fachada SUL do bloco D.

Este ensaio serviu para confirmação de medições efetuadas durante o ensaio 4 na Zona 32, por isso foi realizado de igual. Para além das medições efetuadas no ensaio 4, no ensaio 5, também foi medida a temperatura na caixa-de-ar entre o isolamento e a fachada original.

Segue-se a Tabela 42 com o registo das temperaturas medidas na Zona 32, temperaturas ambiente e humidade relativa.

Tabela 42- Registo de medições efetuadas.

Horário	$\theta_e$	$\theta_{se}$ (Z32)	$\theta_{cx\ ar}$ (Z32)	$\theta_{si}$ (Z32)	$\theta_i$ (Z32)	Nota: Incidência solar
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	
<b>09:45h</b>	22.90	35.60	32.89	29.70	30.64	Sim
<b>10:00h</b>	23.30	34.60	32.80	29.69	32.60	Sim
<b>10:15h</b>	23.40	33.80	32.44	29.45	32.35	Sim
<b>10:30h</b>	23.90	32.20	31.76	29.10	32.20	Sim
<b>10:45h</b>	25.00	31.00	31.56	28.60	31.70	Sim
<b>11:00h</b>	25.10	29.60	31.14	28.60	31.50	Sim
<b>11:15h</b>	25.90	29.65	31.01	28.54	31.30	Sim
<b>11:30h</b>	26.60	27.50	30.72	28.39	31.23	Sim
<b>11:45h</b>	26.90	26.60	30.58	28.28	31.18	Sim
<b>12:00h</b>	27.30	25.10	30.40	28.14	30.69	Sim

Temperatura ambiente exterior ( $\theta_e$ ), temperatura ambiente interior ( $\theta_i$ ), humidade relativa exterior (HRe), temperatura superficial exterior ( $\theta_{se}$ ), temperatura superficial interior ( $\theta_{si}$ ) e Temperatura na caixa-de-ar ( $\theta_{cx\ ar}$ )

Nas tabelas seguintes estão apresentadas as imagens termográficas captadas na Zona 32 no que foi o último ensaio.

Tabela 43- Parâmetros medidos.

Horário	Zona 32		Horário	Zona 32	
	EXTERIOR	INTERIOR		EXTERIOR	INTERIOR
9:45h			11:00h		
10:00h			11:15h		
10:15h			11:30h		
10:30h			11:45h		
10:45h			12:00h		