



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

Uso da termografia para caracterizar qualitativamente fachadas de edifícios

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

Autor

Maria da Conceição Formoso Nobre Santos

Orientadores

Professor Doutor António José Barreto Tadeu

Professor Doutor Nuno Albino Vieira Simões

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

Com a colaboração:



Coimbra, Julho, 2014

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado àqueles que deram a sua contribuição para que esta tese fosse concretizada. A todos eles deixo aqui o meu sincero agradecimento.

Aos meus orientadores Professor Doutor Nuno Simões e Professor Doutor António José Tadeu pelo apoio e orientação disponibilizados na realização deste trabalho, conselhos e sugestões.

Ao IteCons por ter disponibilizado e proporcionado as condições necessárias para a elaboração da minha tese. Também aos colaboradores, Inês Simões pela disponibilidade e pelo esclarecimento de dúvidas prestados e ao João Pedro Laranjeira por me ter iniciado nas medições e ter apontado sugestões práticas que se revelaram dicas preciosas e fundamentais para a aquisição de dados.

À Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia (FCT), no âmbito da pesquisa do projeto PTDC/ECM/114189/2009. Este trabalho também foi apoiado pela Energia e Mobilidade para Regiões Sustentáveis - EMSURE – Projeto (CENTRO-07-0224-FEDER-002004).

Agradeço também ao Dr. Paulo Ribeiro do Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra pelas informações meteorológicas essenciais para a tese.

Aos meus pais que me apoiaram durante o meu percurso académico e me deram oportunidade de um futuro melhor e a confiança necessária para realizar os meus sonhos. Agradeço também ao meu irmão Rui, pela revisão de leitura desta tese. Ao Miguel, por todo o companheirismo, carinho e paciência prestados.

RESUMO

Atualmente, para avaliar o estado funcional de um sistema é possível utilizar técnicas não destrutivas, em alternativa à utilização de técnicas invasivas. A termografia tem-se revelado um poderoso método de inspeção não destrutivo em edifícios, devido à maioria dos defeitos e componentes dos materiais estar associado à temperatura, pelo que a sua medição é essencial para a deteção e caracterização destes.

Para um melhor conhecimento da técnica de termografia foi estudado o seu funcionamento, particularmente aspetos teóricos referentes à medição da temperatura e parâmetros que afetam a medição da radiação emitida pelas superfícies.

De forma a avaliar a técnica de termografia, implementou-se uma extensa campanha termográfica com o intuito de avaliar as suas potencialidades e limitações na avaliação qualitativa de fachadas. Assim foi possível verificar na prática, os conceitos analisados na teoria, identificar as dificuldades e formas de as superar.

Foram escolhidos nove edifícios caracterizados por apresentarem revestimentos distintos e efetuada uma análise qualitativa às suas fachadas. Os dados recolhidos serviram para identificar a influência das diversas condicionantes aquando da aplicação da técnica da termografia *in situ*. Estas condicionantes são a orientação da fachada, altura do dia, condições meteorológicas, meio circundante e características do próprio edifício.

Abstract

Currently, to assess the functional state of a system can use non-destructive techniques in alternative to the use of invasive techniques. Thermography has proved a powerful method for non-destructive inspection of buildings, because most of the defects of materials and components to be associated with temperature, so that its measurement is essential for the detection and characterization thereof.

For a better understanding of the technique of thermography functioning, particularly theoretical aspects related to the measurement of temperature and parameters that affect the measurement of the radiation emitted by the surfaces was studied.

In order to evaluate the technique of thermography, implemented an extensive thermography campaign in order to evaluate their strengths and limitations in the qualitative evaluation of facades. Thus it was possible to verify in practice the concepts analyzed in theory, identify the difficulties and ways to overcome them.

Nine buildings were chosen with different coatings and performed a qualitative analysis of its facades. The data collected were used to identify the influence of various conditions when applying the technique of thermography in situ. These constraints are the orientation of the facade, time of day, weather conditions, surrounding environment and characteristics of the building itself.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	i
Abstract.....	ii
ÍNDICE.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE QUADROS	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento e motivação	1
1.2 Objetivos do trabalho.....	2
1.3 Estrutura do trabalho	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Termografia de infravermelhos	4
2.1.1 Considerações iniciais	4
2.1.2 História	4
2.2 Radiação infravermelha e espectro eletromagnético	6
2.3 Radiação de Corpo Negro.....	6
2.4 Radiação de Corpo Real	9
2.5 Fatores que influenciam a medição termográfica	10
2.5.1 Emissividade.....	12
2.5.2 Refletividade dos materiais	15
2.6 Fatores que influenciam a medição termográfica em edifícios	16
2.7 Análise qualitativa e quantitativa	18
2.8 Tipos de termografia em termos de fonte de calor	18
2.8.1 Termografia Passiva	19
2.8.2 Termografia Ativa	19
2.9 Vantagens e limitações da termografia.....	20
2.10 Aplicação em edifícios	21
3 MEDIÇÕES TERMOGRÁFICAS <i>IN SITU</i>	24
3.1 Seleção dos edifícios para observação.....	24

3.2 Equipamento utilizado- Câmara de termografia.....	25
3.3 Procedimento de captação de imagens	26
3.4 Análise a fachadas de edifícios.....	27
3.4.1 Edifício A	27
3.4.2 Edifício B e C	35
3.4.3 Edifício D	40
3.4.4 Edifício E.....	48
3.4.5 Edifício F.....	51
3.4.6 Edifício G	54
3.4.7 Edifício H	56
3.4.8 Edifício I.....	57
3.5 Considerações finais	60
4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	62
4.1 Conclusão	62
4.2 Trabalhos futuros.....	63
REFERÊNCIAS BIBLOGRÁFICAS	64
ANEXO A- Condições meteorológicas dos dias de medição	67
1. Edifício A	67
2. Edifício B.....	67
3. Edifício C.....	68
4. Edifício D	68
5. Edifício E.....	69
6. Edifício F.....	69
7. Edifício G	69
8. Edifício H	70
9. Edifício I.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Espectro eletromagnético (adaptado de NASA 2014).	6
Figura 2.2-Lei de Planck: relação entre a emitância espectral de um corpo negro em função da temperatura e comprimento de onda (FLIR system, 2011).	7
Figura 2.3-Lei de Planck e Wien (adaptado de FLIR system, 2011).	8
Figura 2.4- Poder emissivo do corpo negro e cinzento em função do comprimento de onda (adaptado de Gruner, 2003)	10
Figura 2.5- Representação esquemática de uma medição termográfica (Asdrubali et al., 2012).	11
Figura 2.6- Variação da emissividade com a temperatura para: a) alguns metais: (1) níquel, (2) tungsténio, (3) platina; b) alguns não metais: (1) borracha, (2) porcelana, (3) cortiça, (4) papel, (5) argila refractária (adaptado de Gaussorgues, 1999).	13
Figura 2.7- Variação da emissividade com o comprimento de onda para: a) alguns metais: (1) cobre, (2) ferro, (3) alumínio, (4) prata; b) alguns não metais: (1) água, (2) terra, (3) plástico; (adaptado Gaussorgues, 1999).	13
Figura 2.8- Variação da emissividade com o ângulo de observação (adaptado de Meola, 2012).	14
Figura 2.9- Variação da emissividade de um metal com a influência do seu nível de oxidação: (1) cobre muito oxidado, (2) cobre levemente oxidado, (3) cobre polido (adaptado de Gaussorgues, 1999).	15
Figura 2.10- Representação esquemática de termografia ativa e passiva (adaptado de Ibarra-Castanedo et al, 2007)	19
Figura 2.11-Igreja de “ <i>Santa Giusta di Bazzano</i> ” em Itália: a) Antes do terramoto; b) Depois do terramoto (Bisegna et al., 2014).	22
Figura 3.1- Distribuição e numeração dos edifícios escolhidos na cidade de Coimbra.	24
Figura 3.2- Localização e orientação das fachadas do Edifício A: a) Fachada Sul; b) Fachada Este; c) Fachada Norte.	27
Figura 3.3- Imagens recolhidas em diferentes dias: a) Fotografia digital da fachada analisada; b) Termograma recolhido depois de chover; c) e d) recolhido em dias sem chuva.	28

Figura 3.4- Comportamento dos diferentes elementos na fachada nos diversos períodos do dia: a) Manhã; b) Meio-dia; c) Tarde; d) Noite	30
Figura 3.5-Identificação de manchas no ETICs em diferentes períodos do dia: a) Foto digital; b) Manhã; c) Meio-dia; d) Tarde; e) Noite.	32
Figura 3.6- Contraste de cores devido às manchas presentes na fachada Este: a) Fotografia digital; b) Termograma.	32
Figura 3.7- Identificação de pontos frios na fachada Este: a) Fotografia digital; b) Medição em dia com precipitação; c) Medição sem precipitação.	33
Figura 3.8- Reflexões observadas de árvores e carros.	34
Figura 3.9-Identificação da descoloração nos painéis de pedra: a) Painéis de pedra protegidos em relação aos não protegidos; b) Descoloração em imagem digital; c) Descoloração em termograma.	34
Figura 3.10- Destacamento do sistema ETICs: a) Fotografia digital; b) Dia; c) Noite	35
Figura 3.11- Localização e orientação da fachada do Edifício B.	36
Figura 3.12- Localização e orientação da fachada do Edifício C.	36
Figura 3.13-Identificação da delimitação das telas em diferentes dias: a) 22 de Maio; b) 26 de Maio; c) 27 de Maio; d) 30 de Maio; e) 31 de Maio; e) 2 de Junho.	37
Figura 3.14- Identificação dos elementos estruturais do Edifício B em diferentes dias: a) 22 de Maio; b) 26 de Maio; c) 27 de Maio; d) 30 de Maio; e) 31 de Maio; f) 1 de Junho.	39
Figura 3.15- Identificação dos elementos estruturais do Edifício C em diferentes dias: a) 22 de Maio; b) 26 de Maio; c) 27 de Maio; d) 30 de Maio; e) 31 de Maio; f) 1 de Junho.	40
Figura 3.16- Localização e orientação das fachadas do Edifício D.	41
Figura 3.17- Identificação dos elementos estruturais, fissuras e colonização biológica na Fachada Norte do Edifício D: a) Fotografia digital; b) 21 de Maio; c) 22 de Maio; d) 26 de Maio; e) 27 de Maio; f) 30 de Maio; g) 31 de Maio; h)1 de Junho.	44
Figura 3.18- Identificação dos elementos estruturais, escorrências e colonização biológica na Fachada Oeste do Edifício D: a) Fotografia digital; b) 21 de Maio; c) 22 de Maio; d) 26 de Maio; e) 27 de Maio; f) 30 de Maio; g) 31 de Maio; h)1 de Junho.	47
Figura 3.19- Localização e orientação da fachada do Edifício E.	48
Figura 3.20- Esquema representativo da reentrância da janela: a) vista interior; b) vista exterior.	49
Figura 3.21- Termogramas ao Edifício E em diferentes dias: a) 22 de Maio; b) 26 Maio; c) 27 de Maio; d) 30 de Maio; e) 31 d Maio; f) 1 de Junho.	51
Figura 3.22- Localização e orientação da fachada do Edifício F.	51

Figura 3.23- Identificação da caixa de estore da janela do piso inferior: a) 26 de Maio; b) 27 de Maio; c) 30 de Maio; d) 31 de Maio; e) 1 de Junho.	53
Figura 3.24- Ausência da identificação da caixa de estore na janela do piso superior.....	54
Figura 3.25- Localização e orientação do Edifício G.	54
Figura 3.26- Reflexões no edifício analisado ao longo dos dias: a) Edifício em frente; b) Fachada analisada; c) 26 de Maio; d) 30 de Maio; e) 31 de Maio.....	55
Figura 3.27- Localização e orientação da fachada do Edifício H.	56
Figura 3.28- Termogramas obtidos da fachada do edifício: a) Dia; b) Noite.....	57
Figura 3.29- Localização do Edifício I e da fachada analisada.	57
Figura 3.30- Identificação dos elementos estruturais do edifício em dias com céu: a) Parcialmente nublado; b) Completamente nublado com chuva; c) Céu parcialmente nublado; d) Limpo (fim da tarde); e) Limpo (noite).....	59
Figura 3.31- Exemplos de reflexões observadas.	59
Figura 3.32- Variação de temperaturas entre o material de contraplacado e o da varanda.	59

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1- Tipo de revestimento, cor exterior da fachada e ano dos edifícios.	25
Quadro 3.2- Dados técnicos da câmara de termografia usada.	25
Quadro 3.3- Quadro síntese com a temperatura de cada elemento em diferentes períodos do dia.	30
Quadro 3.4- Quadro síntese dos elementos estruturais visualizados dos Edifícios B e C durante diferentes dias.	38
Quadro 3.5-Quadro síntese dos elementos e heterogeneidades visualizados na Fachada Norte.	44
Quadro 3.6- Quadro síntese dos elementos e heterogeneidades visualizados na Fachada Oeste.	48
Quadro 3.7- Quadro síntese da identificação da caixa de estores no Edifício F.	53
Quadro A.1- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício A.	67
Quadro A.2- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício B.	67
Quadro A.3- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício C.	68
Quadro A.4- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício D.	68
Quadro A.5- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício E.	69
Quadro A.6- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício F.	69
Quadro A.7- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício G.	70
Quadro A.8- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício H.	70
Quadro A.9- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício I.	70

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e motivação

A termografia caracteriza-se como uma técnica não destrutiva que permite a sua utilização em tempo real e a longas distâncias. É utilizada em diversas áreas, tais como na engenharia civil, indústria (aeronáutica, automóvel, eletrónica), na medicina e medicina veterinária. Na Engenharia Civil, nos últimos anos tem havido um aumento da utilização desta técnica para a deteção de defeitos e anomalias em diversas estruturas. Um novo impulso na aplicação desta técnica deve-se à crescente procura de soluções de baixo consumo de energia e manutenção preventiva das construções (Grinzato et al. ,1998), (Simões et al., 2014-a).

A diretiva de desempenho energético dos edifícios (EPBD), inspirada no protocolo de Kyoto regula os requisitos mínimos para a construção de edifícios na Europa. Tal diretiva foi das principais impulsionadoras da renovação das normas de construção assim como das técnicas de verificação de desempenho. Neste âmbito, foi sem surpresa que as empresas de construção civil, sobretudo a partir da Finlândia, tenham recorrido, pelas vantagens a termografia apresentava. (Kauppinen, 2006). Existem ainda normas internacionais aplicadas à termografia, tais como a norma ISO 6781:1983, que consiste na especificação de uma metodologia qualitativa da aplicação desta técnica em edifícios de forma a detetar irregularidades térmicas (ISO, 1983).

Esta técnica, quando utilizada em edifícios possibilita a identificação de soluções construtivas, elementos estruturais, pontes térmicas e heterogeneidades, tais como fissuras, fungos, destacamentos de materiais, humidade, quer a nível do interior, quer do exterior, através da análise de padrões de distribuição de temperatura. As imagens térmicas obtidas podem ser analisadas quantitativamente, se se pretende um diagnóstico mais pormenorizado ou detalhado; ou qualitativamente, quando se pretende apenas a análise dos contrastes da distribuição de temperaturas existente nas superfícies.

Porém, esta técnica apresenta as suas limitações, a que é necessário estar atento. São múltiplos os fatores que podem influenciar o uso desta técnica e levar a erros de leitura e conclusões inapropriadas. Na avaliação exterior de um edifício, onde as condições não podem ser controladas, é preciso dar especial atenção à sua envolvente, às limitações físicas e às condições presentes no local. Apesar de no interior se ter um ambiente mais controlado, também se deve verificar as condições presentes e remover ou limitar o que possa influenciar. Só uma pertinente e segura identificação, caracterização, estudo e sistematização dos distintos fatores influentes é que permitirão uma aplicação com sucesso da técnica de termografia.

1.2 Objetivos do trabalho

No presente trabalho, o principal objetivo é a identificação de parâmetros com influência na avaliação da superfície exterior de fachadas de edifícios com recurso à termografia. Os parâmetros a analisar relacionam-se com a orientação da fachada, o período do dia em que se efetua a medição, as condições meteorológicas, o meio circundante e as características do próprio edifício.

Estando a termografia dependente da radiação infravermelha emitida pelos corpos é necessário perceber o seu funcionamento. Realizou-se uma revisão bibliográfica com base nos princípios da radiação, tipos de termografia, vantagens e limitações da técnica e parâmetros que podem influenciar as medições. Sendo que a emissividade, distância, ângulo de observação, cor, refletividade e condições ambientais, merecem especial destaque.

Por fim, para concretizar o objetivo principal deste estudo, efetuou-se a realização de uma campanha de medições termográficas a diferentes edifícios, caracterizados por diferentes tipos de revestimento e distintas orientações. Desta forma, procura-se verificar a influência dos diferentes parâmetros na análise sequencial das imagens obtidas.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho encontra-se estruturalmente dividido em 4 capítulos.

No capítulo 1 é feito um enquadramento ao tema abordado, onde é brevemente descrita a técnica, as vantagens e as limitações na utilização desta. São apresentados os objetivos principais que guiam o tema e por fim a estruturação do presente trabalho.

Na segunda parte, capítulo 2, são apresentados os conceitos teóricos do funcionamento da termografia, onde são descritos os princípios da radiação, vantagens e limitações, abordagem teórica à técnica de termografia passiva e ativa e análise quantitativa e qualitativa. São expostos os parâmetros que podem influenciar esta técnica e revista a sua aplicação em edifícios.

O capítulo 3, inclui as medições termográficas *in situ* efetuadas. Aqui são analisados diversos edifícios, com diferentes revestimentos e orientações, em dias distintos a diversas horas, e onde se analisa em que aspetos as condições podem influenciar as medições efetuadas. A partir desta. Foi também efetuada uma síntese das principais considerações a ter em conta aquando da aplicação da técnica em fachadas de edifícios.

No último capítulo, Capítulo 4, são apresentadas as principais conclusões do que foi realizado e proposta de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Termografia de infravermelhos

2.1.1 Considerações iniciais

A origem da palavra termografia é grega. Provém de duas palavras: “*therme*” é temperatura/calor e “*graphein*” é escrita, sendo o seu significado escrita de temperaturas, ou seja, distribuição de temperaturas. A termografia é uma técnica que converte a radiação térmica emitida por um corpo que é invisível ao olho humano devido ao seu comprimento de onda, definindo assim uma imagem térmica que representa a distribuição de temperaturas superficiais do corpo. Esta técnica permite a visualização artificial da luz dentro do espectro infravermelho. Revela-se como uma técnica não destrutiva, não necessitando de qualquer contacto com a superfície analisar.

2.1.2 História

Desde os tempos mais remotos da história, que antigos filósofos e médicos gregos, tais como Platão, Aristóteles, Hipócrates e Galeno, se interessaram pela relação entre o calor e a vida. Através do tato, Hipócrates verificou que em diferentes zonas do corpo humano havia diferenças de temperatura, acabando por utilizar esta variação como um método de diagnóstico de doenças localizadas. A técnica que fez nascer a termografia foi um método de cobertura de lama, onde Hipócrates observou qual a zona onde a lama endurecia primeiro, evidenciando assim a zona do corpo mais quente (Afonso, 2010).

Muitos séculos depois, em 1592, o astrónomo Galileu descobriu e desenvolveu o 1º termómetro de ar, embora este só indicasse mudanças de temperatura bruscas, não tinha escala e era influenciado pela pressão atmosférica. Em 1659, Boullian modificou o termómetro

introduzindo mercúrio dentro de um tubo de vidro, onde mais tarde, Fahrenheit, Celsius e Joule desenvolveram as escalas termométricas (Afonso, 2010).

Em 1800, o astrónomo William Herschel, baseando-se na experiência de Newton que decompôs a luz solar através de um prisma, e introduzindo ao mesmo tempo um termómetro, mediu as temperaturas e verificou que estas registavam um aumento gradual desde a cor violeta até ao vermelho e que para além do vermelho as temperaturas continuavam a aumentar. Herschel chamou à nova porção do espectro eletromagnético da sua descoberta de “espectro termométrico”, donde veio a derivar, mais tarde, o termo “infravermelho” (FLIR system ,2011).

Em 1884, Boltzmann comprovou como a partir dos princípios físicos termodinâmicos é possível demonstrar a lei empírica do corpo negro formulada por Stefan em 1879. Ganhando assim o título de pai da termografia infravermelha.

Morse, em 1899, desenvolve a primeira patente de um pirómetro ótico, que consistia num equipamento de medição de temperatura. Enquanto Holborn e Kurlbaum sem saber da existência daquele, desenvolviam um aparelho semelhante em 1901. Mais tarde, em 1913, L.Bellingham apresentou um termómetro IV com significativas melhorias em relação ao pirómetro, pois tratava-se de um termómetro de infravermelhos que deteta objetos com temperaturas inferiores à temperatura ambiente (Afonso ,2010).

Ao longo do séc. XX, foram surgindo evoluções de aparelhos de deteção de temperaturas. Na Segunda Guerra Mundial, o exército usou detetores de infravermelhos como sistema de visão noturna e localização do inimigo. Na década de 60 começaram a ser comercializados e começou assim a ser utilizada em diversas áreas (Indústria, Medicina entre outras). Na última década do séc. XX, surgiu uma nova geração de equipamentos que permitiram a leitura simultânea da temperatura em diferentes pontos.

Atualmente existem equipamentos de radiação térmica, como por exemplo os scanners de linha (formados por um sistema de varrimento, fornece perfil de temperaturas ao longo do tempo), os pirómetros de infravermelhos (fornece a medida de temperaturas num ponto, restritos assim a uma pequena área) e as câmaras termográficas (fornecem a distribuição de temperaturas superficial em forma de imagem térmica em tempo real) (Aldeias, 2003).

2.2 Radiação infravermelha e espectro eletromagnético

A radiação infravermelha (IV) é um tipo de energia eletromagnética que todos os objetos com temperatura superior ao zero absoluto emitem (Clark et al. ,2003).

O espectro (Figura 2.1) está dividido em bandas, que abrangem diferentes comprimentos de onda que vão dos comprimentos de onda curtos, onde se localiza a região dos Raios Gama, dos Raios X e dos Ultravioleta, a que se segue a região Visível, onde o olho humano é capaz de visualizar. Depois desta localizam-se as regiões com comprimento de onda longos como a região dos Infravermelhos, das Micro-ondas e das Ondas rádio.

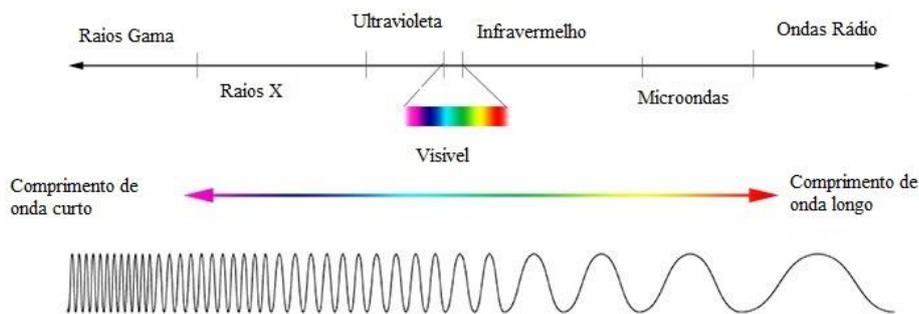


Figura 2.1- Espectro eletromagnético (adaptado de NASA 2014).

A região dos infravermelhos apresenta comprimentos de onda que variam entre os 0,75 e os 1000 μm e é subdividida em três sub-regiões: infravermelhos próximo (0,75 a 1,5 μm), médios (1,5 a 20 μm) e extremos (20 a 1000 μm).

2.3 Radiação de Corpo Negro

A transferência de calor é um mecanismo que ocorre na forma de ondas eletromagnéticas. Através deste modo de transferência de calor, a energia pode viajar no vácuo e ser parcialmente absorvida (α), refletida (ρ) ou até mesmo transmitida (τ) por um corpo.

Um corpo negro é definido como aquele que absorve toda a radiação incidente em qualquer comprimento de onda, não refletindo assim qualquer radiação. Além de bom absorvedor é também um emissor ideal, não havendo nenhuma superfície que emita maior radiação IV à mesma temperatura (Carlomagno e Cardone, 2010).

Em equilíbrio térmico, um corpo negro é igualmente capaz de absorver e emitir toda a radiação para qualquer comprimento de onda. A radiação emitida por um corpo negro é descrita por três leis da radiação: Lei de Planck (relaciona a energia e o comprimento de onda), Lei de Wien (relaciona a temperatura e comprimento e onda) e Lei de Stefan-Boltzmann (relaciona a temperatura e energia).

A emitância radiante diz respeito à quantidade de energia que um corpo emite por unidade de comprimento de onda. A Figura 2.2 representa a emitância radiante espectral de um corpo negro segundo a Lei de Planck.

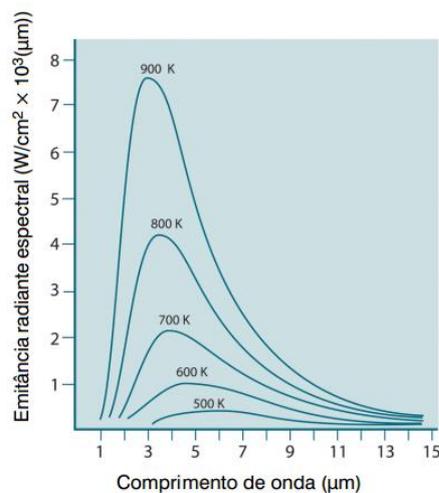


Figura 2.2-Lei de Planck: relação entre a emitância espectral de um corpo negro em função da temperatura e comprimento de onda (FLIR system, 2011).

As curvas da Figura 2.2 mostram que quanto maior for a temperatura, mais intensa é a emitância espectral e mais curto é o comprimento de onda. A Lei do Deslocamento de Wien relaciona o comprimento de onda onde se encontra o ponto máximo de cada curva e a sua temperatura:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{b}{T} \tag{1}$$

Onde:

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

A Figura 2.3 mostra as curvas de Planck e uma linha a tracejado que representa o máximo da emitância para cada temperatura, como foi descrito na Lei do Deslocamento de Wien.

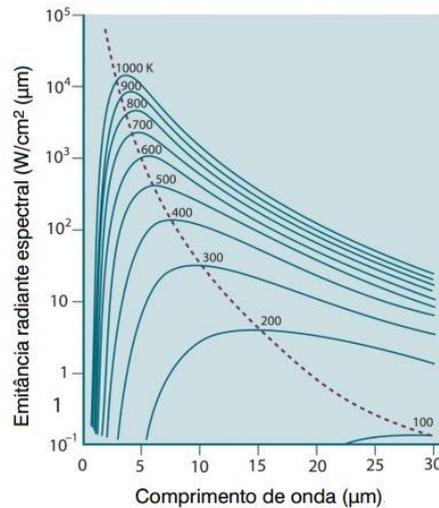


Figura 2.3-Lei de Planck e Wien (adaptado de FLIR system, 2011).

Por último, a Lei de Stefan-Boltzmann estabelece que a energia radiante emitida por um corpo negro, por unidade de área de superfície é proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta. Esta lei permite calcular o poder emissor de um corpo.

$$W_b = \sigma \cdot T^4 \tag{2}$$

Onde:

W_b	[$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]	Energia radiante total do corpo negro
$\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$	[$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$]	Constante de Stefan-Boltzmann
T	[K]	Temperatura absoluta do corpo negro

2.4 Radiação de Corpo Real

Num corpo real ou não negro uma fração da energia incidente pode ser absorvida (α) e a restante refletida (ρ) e transmitida (τ). Estes três fatores dependem do comprimento de onda (λ) e o somatório é sempre igual à unidade:

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (3)$$

Onde:

$\alpha(\lambda)$ Absorção espectral, que traduz a razão entre radiância absorvida pelo objeto e a radiância total que sobre ele incide, para um dado comprimento de onda;

$\rho(\lambda)$ Reflexão espectral, que traduz a razão entre radiância refletida pelo objeto e a radiância total que sobre ele incide, para um dado comprimento de onda;

$\tau(\lambda)$ Transmissão espectral, que traduz a razão entre radiância transmitida pelo objeto e a radiância total que sobre ele incide, para um dado comprimento de onda;

A emissividade (ϵ) é a relação entre a energia irradiada pelo corpo em estudo à temperatura T e a energia radiada por um corpo negro à mesma temperatura, ou seja a capacidade que um corpo tem em emitir radiação. A lei de Kirchoff afirma que para qualquer material, a emissividade espectral é igual à absorção espectral de um corpo em quaisquer temperaturas e comprimentos de onda, ou seja:

$$\alpha(\lambda) = \epsilon(\lambda) \quad (4)$$

Assim sendo a equação (3) poderá ser definida por:

$$\epsilon(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (5)$$

Para materiais opacos, a transmissividade é nula, ficando assim a expressão (3) simplificada por:

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) = 1 \quad (6)$$

Para um corpo real, a expressão (2) dada pela Lei de Stefan-Boltzmann, define-se da seguinte forma:

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

Como já foi referido no subcapítulo anterior (2.3), o corpo negro é um emissor ideal, possuindo assim uma emissividade igual a 1. Um corpo cinzento possui uma emissividade menor que a do corpo negro, ou seja, inferior a 1. Num corpo não cinzento, a emissividade varia ao longo de diferentes comprimentos de onda. A Figura 2.4 apresenta o poder emissivo dos diferentes corpos referenciados em função do comprimento de onda.

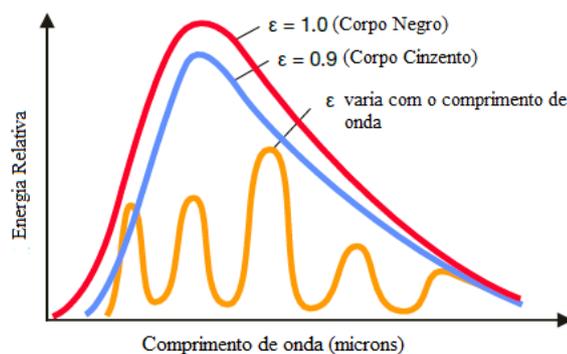


Figura 2.4- Poder emissivo do corpo negro e cinzento em função do comprimento de onda (adaptado de Gruner, 2003)

2.5 Fatores que influenciam a medição termográfica

A termografia é uma excelente técnica para medições de temperatura superficial de um objeto, mas apresenta algumas dificuldades podendo levar a medições e a conclusões erradas, sendo necessário tomar as devidas precauções antes e durante a realização das medições, nomeadamente analisar modelos numéricos (Serra et al., 2014).

A câmara termográfica capta as radiações emitidas não só pela superfície do objeto em análise, mas também pelo meio adjacente que reflete na superfície e pela própria atmosfera. A radiação difusa ou a difusão da luz solar na atmosfera proveniente de fontes de radiação intensa torna-se de difícil contabilização, embora na maioria dos casos essa quantidade é tão reduzida que se pode considerar desprezável. Os diversos fatores que influenciam as medições são: a emissividade, a temperatura refletida, a temperatura ambiente, a humidade e a distância do objeto.

A Figura 2.5 ilustra os processos de transferência e energia de uma análise termográfica.

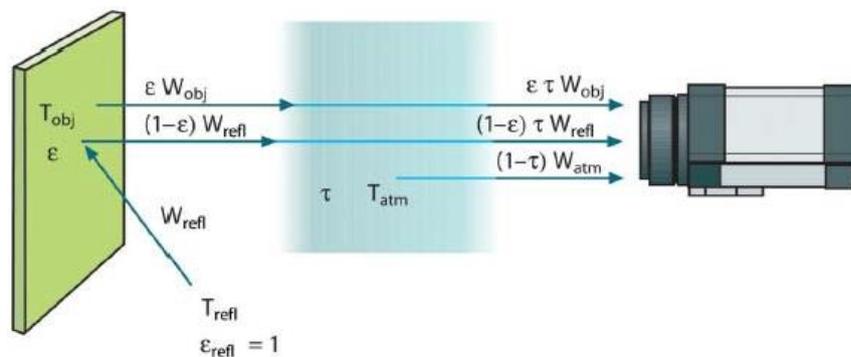


Figura 2.5- Representação esquemática de uma medição termográfica (Asdrubali et al., 2012).

A potência total da radiação medida pela câmara (W_{tot}), ilustrada na figura anterior, é formulada a partir dos fatores influentes entre a câmara, a superfície do objeto e a atmosfera:

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

Onde:

ε	Emissividade
τ	Coefficiente de transmissibilidade da atmosfera
W_{obj}	Energia radiada a partir do objeto
W_{refl}	Energia refletida a partir dos corpos vizinhos
W_{atm}	Energia relativa à absorção da atmosfera

A energia radiada pelo objeto depende da sua temperatura, enquanto a absorção da atmosfera está relacionada com a temperatura do ar, humidade e com a distância entre a câmara e a superfície. As contribuições da vizinhança dependem da temperatura dos objetos adjacentes e das suas propriedades refletoras.

2.5.1 Emissividade

Numa análise termográfica, para que se consigam leituras corretas da temperatura é necessário ter em consideração o valor correto da emissividade da superfície em análise. A emissividade pode ser determinada pela medição paralela da temperatura da superfície em análise com um material de emissividade conhecida (Asdrubali et al., 2012). Aquando da medição da emissividade de um corpo há que ter em conta a temperatura, o comprimento de onda, o ângulo de visão e ainda a geometria e condição do objeto. Em seguida estas são abordadas com maior detalhe.

- Influência da temperatura

O ambiente onde a medição é efetuada deve ser mantido, quando possível, a uma temperatura constante, no intuito de minimizar os termos diferentes da emissividade do objeto, reduzindo assim a sua contribuição para a redução de precisão (Asdrubali et al., 2012).

A maioria dos materiais de construção tem valores de emissividade na gama 0,90-0,95, o que torna fácil obter uma medida precisa da sua temperatura. Mas há também materiais cujos valores de emissividade são menores. É o que acontece, por exemplo, com os metais e com materiais constituídos por superfícies altamente refletivas, que, na medição termográfica apresentam valores de temperatura inferior à real (Paoletti et al. 2013). Os metais têm baixa emissividade, que tende a elevar-se com o aumento da temperatura, já o inverso acontece com os não metais, em que a emissividade diminui com o aumento da temperatura. Isto pode ser visualizado através da

Figura 2.6.

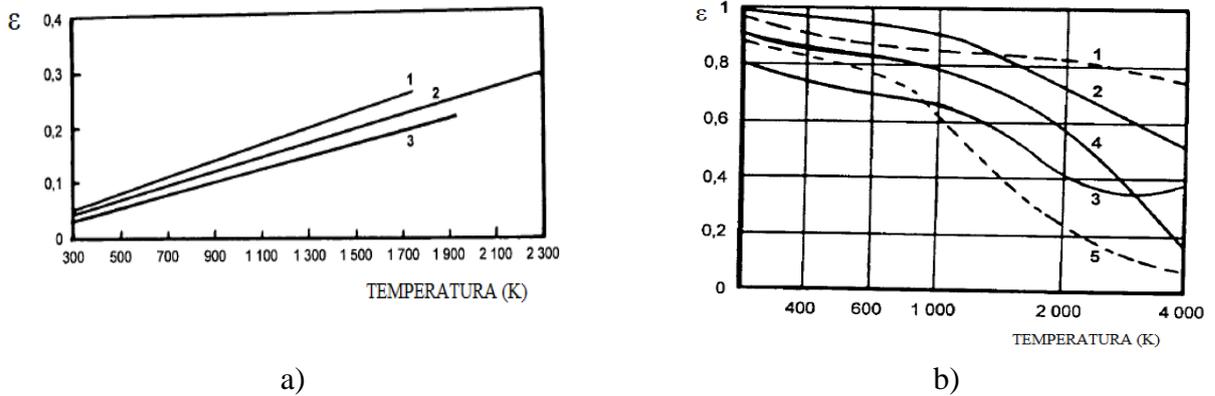


Figura 2.6- Variação da emissividade com a temperatura para: a) alguns metais: (1) níquel, (2) tungstênio, (3) platina; b) alguns não metais: (1) borracha, (2) porcelana, (3) cortiça, (4) papel, (5) argila refractária (adaptado de Gaussorgues, 1999).

• Influência do comprimento de onda

Segundo (Gaussorgues 1999), a emissividade varia com o comprimento de onda para os sólidos de uma forma lenta e para os gases e líquidos apresenta flutuações bruscas. A Figura 2.7 mostra que para os metais a emissividade diminui com o aumento do comprimento de onda e, mais uma vez, acontece o processo inverso no caso dos não metais, onde a emissividade tende a aumentar com o comprimento de onda.

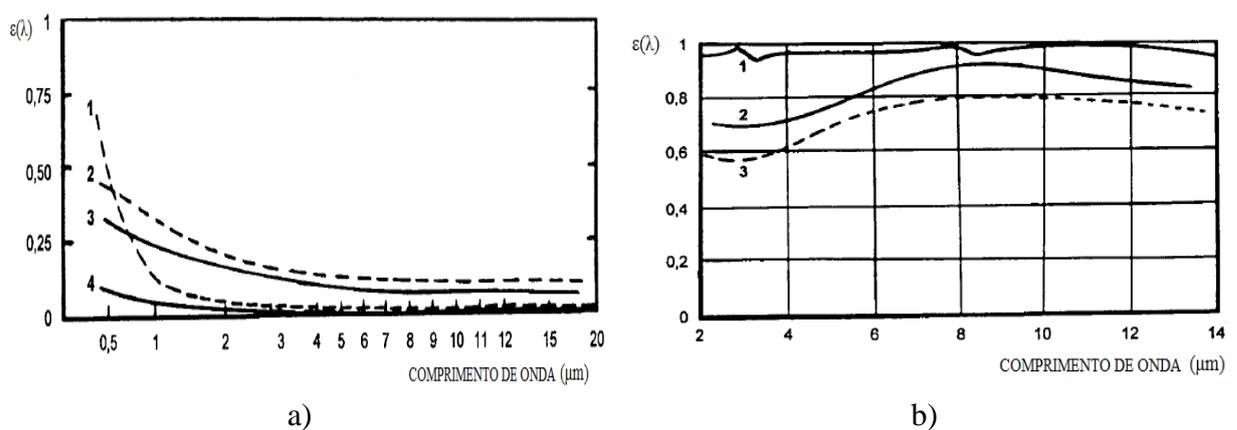


Figura 2.7- Variação da emissividade com o comprimento de onda para: a) alguns metais: (1) cobre, (2) ferro, (3) alumínio, (4) prata; b) alguns não metais: (1) água, (2) terra, (3) plástico; (adaptado Gaussorgues, 1999).

- Influência do ângulo de observação

Quando o ângulo de observação aumenta em relação à normal da superfície do objeto, a emissividade diminui. Para superfícies não planas e sem alteração de material a emissividade varia de ponto para ponto no mesmo material em função do ângulo. Na Figura 2.8 pode observar-se que a partir de um ângulo de 45° em relação à normal, a emissividade baixa bruscamente, sendo nula para um ângulo de observação de 90° (Meola, 2012). Quando se observam objetos com um ângulo agudo em relação à sua superfície, as imagens apresentam menor informação do que se fossem observadas com um ângulo reto (Balaras & Argiriou 2002).

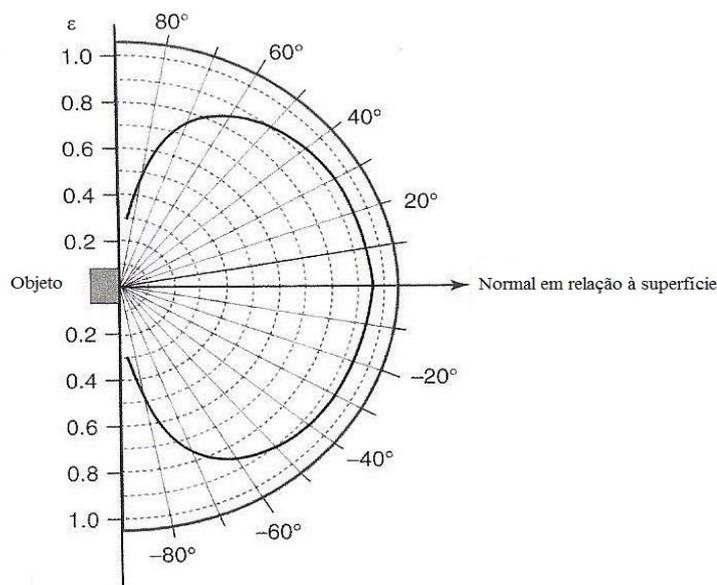


Figura 2.8- Variação da emissividade com o ângulo de observação (adaptado de Meola, 2012).

- Influência da geometria e condições do objeto

A geometria de um objeto causa variações na emissividade, formas côncavas aumentam o valor da emissividade, enquanto convexas a fazem diminuir. A condição do objeto também influencia a emissividade, como pode ser visto nos metais, com o nível de oxidação que estes apresentam. Quando o nível de oxidação aumenta, a emissividade desse material também

aumenta, enquanto que se esse nível for baixo, mais baixa será a sua emissividade (Figura 2.9).

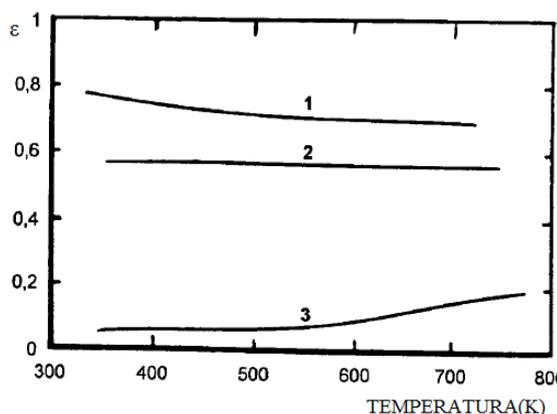


Figura 2.9- Variação da emissividade de um metal com a influência do seu nível de oxidação: (1) cobre muito oxidado, (2) cobre levemente oxidado, (3) cobre polido (adaptado de Gaussorgues, 1999).

2.5.2 Refletividade dos materiais

A refletividade é um problema na aquisição de imagens termográficas e na sua análise. Esta resulta do facto de um corpo real além de emitir e absorver radiações, também reflete a radiação emitida por corpos vizinhos. Assim as medições termográficas, são influenciadas pela radiação vizinha, o que poderá causar erros na sua interpretação.

Os metais, especialmente os de superfície brilhante, devido ao seu baixo valor de emissividade, tornam-se grandes refletores (Barreira 2004). Quando sob a presença desses materiais, torna-se importante compensar a radiação refletida no objeto, para esse efeito utiliza-se o valor da temperatura aparente refletida. Na prática esta pode ser obtida colocando uma folha de alumínio na superfície do objeto em estudo, definindo ao mesmo tempo a câmara com valor unitário de emissividade. Devido ao facto do alumínio apresentar uma refletividade alta, o termograma obtido dará o valor da temperatura aparente refletida (Asdrubali et al. 2012).

2.6 Fatores que influenciam a medição termográfica em edifícios

Como referido no subcapítulo (2.5), a radiação recebida de um objeto depende da sua temperatura, da emissividade espectral, das reflexões a partir do meio adjacente, juntamente com a transmissão térmica. Portanto numa medição efetuada num edifício tem que se ter em consideração fatores externos que alteram a radiação recebida na câmara.

Os fatores climáticos têm uma influência importante e que deve ser tomada em conta. A luz solar e o vento podem influenciar a temperatura do objeto. A chuva não só baixa a temperatura, mas também pode causar alterações ao nível da emissividade (Clark et al., 2003).

Numa inspeção realizada no exterior de um edifício, a radiação solar influencia as medições, pelo que os resultados obtidos pela manhã serão distintos dos do meio-dia, da tarde ou da noite. Antes do amanhecer, o efeito da radiação solar é mínimo; ao meio dia as temperaturas da superfície nos elementos atingem valores máximos pois é quando o efeito da radiação solar é maior; ao anoitecer, as superfícies que durante o dia estiveram expostas à radiação solar e armazenaram calor, vão dissipar essa energia (Hoyano et al., 1999). Como este processo de dissipação de energia não se processa de forma imediata, mas pode levar algum tempo, aconselha-se que os ensaios termográficos não tenham lugar imediatamente após o pôr-do-sol. Vários autores, (Fokaides & Kalogirou, 2011), (Balaras e Argiriou, 2002), (Lehmann et al., 2013), recomendam que as medições sejam realizadas à noite e/ou em dias de céu nublado, (Cerdeira et al., 2011) acrescenta ainda o início da manhã.

Numa inspeção interior, a informação obtida pode ser alterada pelo aquecimento proveniente do exterior, não só devido à transferência de calor pelas paredes mas também pelo facto das janelas permitirem a entrada dos raios solares, devendo estas estar fechadas na realização do ensaio (Quinteiro, 2009).

Tal como a radiação solar, também o vento afeta a distribuição de temperaturas superficiais de um elemento construtivo. Dependendo das pressões da fachada, o vento pode originar infiltrações ou fugas de ar (Quinteiro, 2009). Na envolvente exterior, o vento arrefece a superfície, devido ao facto de reduzir a resistência térmica superficial.

Na medição da envolvente interior de um edifício, é necessário ter especial atenção no sentido de que a superfície a ser analisada não seja exposta à ação do vento, nem a possíveis correntes de ar provenientes de janelas. São várias as referências bibliográficas, como o caso (Fokaides e Kalogirou, 2011) que defendem a realização de medições com baixas velocidades de vento, com o meio de minimizar, tanto quanto possível a influência de perdas de calor convectivo. O valor limite de influência varia de autor para autor: (Lehmann et al., 2013) refere que ventos até 2 m/s não influenciam as medições; já (Balaras e Argiriou, 2002) sugere um limite de 5 m/s.

A chuva, o gelo, humidade e a neve têm alta emissividade e são impermeáveis à radiação infravermelha, não conseguindo assim a radiação IV emitida pelas superfícies do objeto alcançar a lente da câmara. Por isso, as medições não devem ser efetuadas em dias de chuva, visto que, ao analisar um objeto a câmara vai detetar a temperatura da água e não a temperatura real da superfície do objeto (Lagüela et al., 2012).

A distância relativa entre a câmara e o ponto a ser analisado é também um elemento a ter em conta. Com o aumento da distância cada ponto analisado corresponde a uma área maior dessa superfície, perdendo-se assim o detalhe, sendo nestes casos, a radiação captada uma média da radiação emitida (Balaras e Argiriou, 2002). (Bisegna et al., 2014) refere a especial atenção dada à distância da câmara e para a necessidade de contabilizar também devido à influência da absorção atmosférica na transmissão de calor.

Outros fatores há ainda a ter em conta para a uma medição o mais exata possível. A presença de poeiras, de poluição e de fumos que possuem alta emissividade podem originar uma fonte de erro na medição, por atenuarem a radiação e influenciarem a absorção atmosférica (Balaras & Argiriou 2002). A existência de fatores externos, como sombras, esgotos, edifícios e outros elementos vizinhos, podem trazer problemas na interpretação de resultados se não forem tomadas em conta (Clark et al. 2003). A presença de pessoas, radiadores, luzes, equipamentos em funcionamento e outros, também podem interferir na medição, em especial na envolvente interior.

A estação do ano em que são efetuadas as medições é um fator a ter também em conta, pois afetam de forma distinta os elementos construtivos de um edifício. No Verão, como o ângulo

de elevação da radiação solar direta é maior, um edifício está mais exposto a uma maior quantidade radiação solar do que no inverno (Hoyano et al, 1999).

2.7 Análise qualitativa e quantitativa

Os resultados obtidos através de ensaios termográficos podem ser obtidos a partir de uma análise quantitativa, qualitativa ou de ambas, dependendo da aplicação.

A análise qualitativa regista padrões de distribuição térmica de um material, não revelando assim grande detalhe. Em edifícios esta análise pode ser utilizada na observação direta da estrutura para identificação de possíveis anomalias, para determinar se fenómenos anteriormente detetados estabilizaram ou, pelo contrário, evoluíram, avaliar a existência de riscos e concluir se é necessário a tomada de medidas (Paoletti et al., 2013).

Na análise quantitativa de um termograma verificam-se se as variações de temperatura superficial existentes, poderão revelar uma anomalia, sendo então necessário considerar parâmetros, tais como a humidade, distância, emissividade, temperatura ambiente. Neste tipo de análise nem toda a informação é utilizada *in situ*, mas sim tratada em computador para ser posteriormente interpretada.

2.8 Tipos de termografia em termos de fonte de calor

Existem dois tipos de termografia que podem ser utilizadas na inspeção de um material: ativa e passiva. A Figura 2.10 esquematiza os diferentes tipos de termografia que vão ser seguidamente abordados.

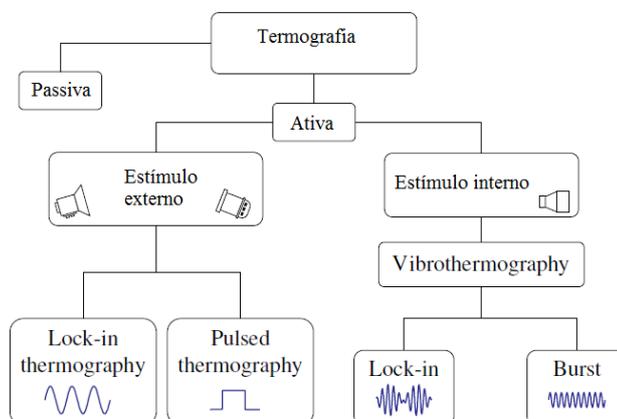


Figura 2.10- Representação esquemática de termografia ativa e passiva (adaptado de Ibarra-Castanedo et al, 2007)

2.8.1 Termografia Passiva

A termografia passiva não necessita de qualquer fonte de excitação artificial, pois neste caso o material ou estrutura emite radiação infravermelha em quantidade suficiente para que seja possível a detecção de eventuais padrões e anomalias (Laranjeira et al., 2014).

Esta vai ser a técnica usada na parte prática deste trabalho para a inspeção de fachadas de edifícios.

2.8.2 Termografia Ativa

A termografia ativa consiste na utilização de uma fonte de energia de modo a produzir contraste térmico em materiais que se encontram em equilíbrio com o ambiente. Segundo (Ibarra-Castanedo et al., 2007), o contraste térmico pode ser obtido de diferentes fontes de estímulo nos materiais, estas podem ser divididas em externas, onde a energia incide à superfície e em seguida se propaga através do material até encontrar o defeito, ou como interna, se a energia é incidida na superfície com o intuito exclusivo de realçar os defeitos existentes.

Na estimulação externa existem 2 técnicas distintas, que se diferenciam pela fonte estimulante. Numa é utilizada uma fonte que permite um aquecimento periódico, como as lâmpadas de halógeno, designando-se por “*Lockin Thermography*”, enquanto que na outra é utilizado o aquecimento de impulso térmico através de um laser ou um feixe de luz focalizada, sendo esta chamada de “*Pulse Thermography*” (Simões et al., 2014-b)

Também na estimulação interna se podem diferenciar 2 técnicas: a “*Lockin Vibrothermography*”, utiliza uma fonte de vibração por ondas ultrassónicas que varia em amplitude de sinal, provocando um aquecimento periódico; a “*Brust Vibrothermography*”, que se distingue da anterior ao utilizar ondas ultrassónicas de amplitude constante, resultando no aquecimento por impulso. Esta estimulação é conseguida colocando a fonte de ultrassons em contacto direto com o material, que gera ondas ultrassónicas, que se vão propagar no material e quando estas encontram uma anomalia dissipam calor, que posteriormente vai ser detetado pela câmara revelando assim o defeito (Mendioroz et al., 2014).

2.9 Vantagens e limitações da termografia

São diversos os autores que referem a termografia como uma técnica muito vantajosa, mas também apresentam as suas limitações. (Carlomagno e Cardone, 2010) afirma que se usada corretamente, a termografia IV representa uma ferramenta ótica muito poderosa. Podendo ser associada a outras técnicas e permitir uma maior aplicabilidade. Pode ser utilizada nas mais diversas áreas e os resultados são relativamente fáceis de interpretar. Não coloca em riscos os seus utilizadores, pois não contém radiação nociva (Maldague, 2002).

Como já referido, esta técnica pode ser usada a longas distância para medição do objeto sem precisar de contacto direto com o objeto em estudo. A distância do objeto com a câmara pode variar de milímetros a vários quilómetros, permitindo assim inspecionar e identificar áreas potencialmente perigosas (Clark et al., 2003). Estas áreas que podem ir desde locais com fumos e fogo a edifícios em mau estado de conservação em risco de ruir.

As câmaras são capazes de captar a temperatura em diversos pontos ao mesmo tempo dentro do mesmo cenário. Esta também permite visualização noturna e através de fumo ou de névoa. Caracteriza-se por ser um equipamento leve e fácil de transportar. Os dados gravados nesta, podem ser monitorizados e processados num computador. Apresentam uma taxa de resposta

rápida e são capazes de captar e monitorizar flutuações bruscas de temperatura grande precisão. A câmara não causa interferência significativa com o objeto e permite a introdução de filtros, sendo que a sua sensibilidade e resposta pode ser alterada para se adequar à situação (Clark et al., 2003).

As maiores limitações devem-se ao facto do preço da câmara ser elevado e ser necessário uma pessoa qualificada para a utilizar e interpretar os seus resultados (Maldague, 2002). No subcapítulo 2.6 foram abordados os parâmetros que podem condicionar a utilização da termografia.

2.10 Aplicação em edifícios

Com a crescente procura pela eficiência e poupança de energia, a termografia torna-se uma importante ferramenta na identificação de patologias que podem pôr em causa o desempenho energético dos edifícios. Esta técnica pode ser usada durante a fase de construção, por exemplo na colocação de isolamento, na identificação de fugas de ar através da envolvente e na avaliação de pontes térmicas, de modo a que sejam construídos edifícios eficientes (Taylor et al., 2013).

Além de auxiliar no processo construtivo, na pós-construção pode ser utilizada para avaliar o desempenho térmico de edifícios e permite também: identificar elementos construtivos, tornando fácil a identificação do tipo de alvenaria, pilares e laje; localizar perdas energéticas; verificar problemas de isolamento; localizar humidades e zonas fissuradas, pontes térmicas entre outros. Como técnica não destrutiva permite um diagnóstico precoce de diversos defeitos, prevenindo assim a sua evolução e degradação dos materiais. Pode ainda ser utilizada na investigação de novas tecnologias e materiais (Barreira, 2004).

A nível de conforto térmico, esta técnica permite a inspeção de sistemas de aquecimento localizando fugas e obstruções (Barreira, 2004). Em Portugal foram já realizados vários estudos com recurso a esta técnica, como é o caso: (Barreira, 2004) que realizou um estudo de diferentes revestimentos de pavimento, onde analisou as diferenças de temperatura após o contacto do pé com o revestimento; um estudo do isolamento térmico de edifícios, onde a termografia se apresentou como uma mais-valia na caracterização opaca e uma grande ajuda no cálculo do coeficiente de transmissão de calor na envolvente de edifícios (Sousa, 2010).

Um estudo efetuado por (Feijó, 2013), onde este inseriu uma manifestação patológica artificial em blocos cerâmicos revestidos com argamassa sujeitos a um ambiente com temperatura e humidade relativa não controlados, permitiu verificar que a partir da termografia era possível identificar e delimitar o contorno da patologia que não era visível sob o revestimento de argamassa.

Em edifícios históricos e com valor patrimonial, esta técnica revela-se muito vantajosa, pois permite efetuar um diagnóstico para uma correta avaliação e decisão sobre as medidas e tratamentos a serem adotados. Mostram a utilidade para um diagnóstico preventivo na avaliação do risco de um sismo, bem como a sua utilização em aplicações futuras para salvaguardar edifícios históricos (Paoletti et al., 2013). Na Figura 2.11, pode ver-se um exemplo da aplicação da termografia na prevenção de edifícios históricos, onde a termografia identificou áreas danificadas na torre do sino e perto da janela central (Figura 2.11-a), aquando a ocorrência de um sismo originou a sua queda, Figura 2.11-b.

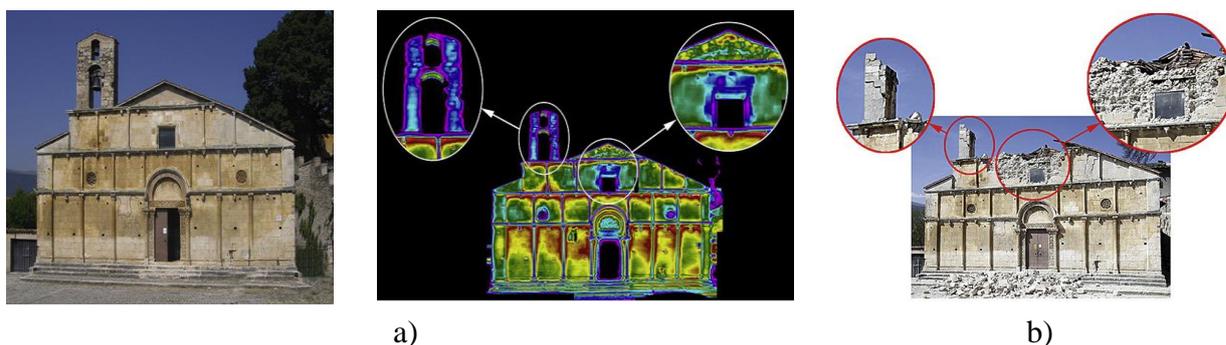


Figura 2.11-Igreja de “*Santa Giusta di Bazzano*” em Itália: a) Antes do terramoto; b) Depois do terramoto (Bisegna et al., 2014).

(Lehmann et al, 2013), avaliaram a influência das condições climáticas no comportamento de diferentes revestimentos. Verificaram que a exposição solar e o próprio tempo de exposição é importante a ter em conta aquando a realização de uma medição, devido ao facto de construções com revestimentos pesados, tais como betão, demorarem mais tempo a aquecer e arrefecer em relação a revestimentos leves, como os que têm isolamento pelo exterior. O vento é outro fator que interage e influencia a medição, provocando o arrefecimento das paredes da fachada, sobretudo as constituídas por revestimentos leves. O dia ideal para uma medição termográfica é quando o céu se encontra completamente nublado, visto que é quando

a temperatura do céu é igual à do ar e não há tantos fatores a influenciarem as medições. É importante analisar as temperaturas dos dias anteriores às medições em construções pesadas (betão), pelas razões já mencionadas.

Existem inúmeros edifícios com revestimento colado, estes requerem inspeções periódicas para avaliar as condições existentes e descobrir possíveis deficiências, a fim de serem reparadas e evitar que estas caiam e coloquem pessoas em perigo. Uma técnica de inspeção e reparação comum envolve a instalação de andaimes temporários e atividades perigosas, tal como escalada. A termografia permite identificar a falta de aderência de ladrilhos e painéis de pedra numa parede de um edifício e reduzir os custos de inspeção.

A altura do dia é crucial para a verificação de delaminações e humidades em materiais cerâmicos. A altura ideal para a visualização de humidades e delaminações é aquela em que se dão os ganhos solares. Quando ambas estão presentes, a delaminação tem maior influência na leitura que a humidade (Edis et al., 2014).

A presença de sais, metais ou de materiais magnéticos, como campainhas e sistemas de alarme, podem causar erros na medição. Quando se utiliza a termografia, a presença de sais higroscópicos, comuns na alvenaria de tijolo, podem ter o mesmo comportamento que a humidade (Edis et al, 2014).

Na avaliação de defeitos em painéis de pedra, (Cerdeira et al, 2011) constataram que quanto maior for o gradiente, maior será a diferença de temperaturas no defeito e assim melhor a sua visualização. Os períodos preferíveis do dia para as medições deste tipo de revestimento, devido à radiação solar ter que ser evitada, são o início da manhã ou já adiantada a noite, momentos em que a temperatura exterior é mais baixa.

Apesar de algum trabalho realizado na Engenharia Civil considera-se que é importante realizar campanhas experimentais adicionais, em particular para a realidade construtiva nacional e condições climáticas, que sirvam de base ao apuramento de condições adequadas para as medições.

3 MEDIÇÕES TERMOGRÁFICAS *IN SITU*

3.1 Seleção dos edifícios para observação

Neste capítulo procurou-se utilizar a técnica da termografia num conjunto de edifícios. Para a seleção do conjunto de edifícios foi tido em conta essencialmente os fatores: diversidade do material de revestimento e das cores utilizadas, com fachadas orientadas para diferentes sentidos, e com diferentes anos de construção. Optou-se também por razões de funcionalidade que os edifícios se localizassem numa área próxima do local de residência e de estudo. Daí a sua localização na cidade de Coimbra. Foram assim identificados 9 edifícios situados, seis dos quais localiza-se no Bairro Norton de Matos, dois no Vale das Flores e apenas um no Pólo II da Universidade de Coimbra (Figura 3.1).



Figura 3.1- Distribuição e numeração dos edifícios escolhidos na cidade de Coimbra.

De acordo com os princípios acima referidos, o Quadro 3.1, mostra as características (tipo de revestimento, cor e ano de construção) de cada um dos edifícios que vai ser objeto de análise neste trabalho.

Quadro 3.1- Tipo de revestimento, cor exterior da fachada e ano dos edifícios.

Edifício	Revestimento	Cor	Ano
A	ETICs e pedra colada	Bege	1999
B	Argamassa com pintura	Cinzento	1955
C	Tela impermeabilizante	Branco	1955
D	Argamassa com pintura	Cinzento	1955
E	Ladrilho "pastilha de piscina"	Castanho	1955
F	Ladrilho vidrado	Catanho	1955
G	Ladrilho	Rosa	2000
H	Argamassa com pintura	Bege e cinza	2000
I	Contraplacado de madeira	Castanho claro	2006

3.2 Equipamento utilizado- Câmara de termografia

A aquisição de imagens realizou-se com o recurso a uma câmara de modelo FLIR T360. O Quadro 3.2 apresenta algumas das especificações referentes a este tipo de equipamento.

Posteriormente à aquisição de imagens é possível o tratamento destas através do *software* FLIR QuickReport, que permite medir temperaturas em determinados pontos ou áreas, alterar a paleta de cores ou até ajustar parâmetros como a emissividade, humidade relativa e temperatura.

Quadro 3.2- Dados técnicos da câmara de termografia usada.

Imagens e dados óticos	
Campo de visão	25 x18°
Limite de focagem	0,40m
Sensibilidade térmica	<0,07°C
Focagem	Automática e Manual

Dados do detetor	
Tipo de detetor	Matriz de plano focal (FPA), microbolômetro não refrigerado
Faixa espectral	7,5 μm - 13 μm
Resolução	320x240
Medição	
Precisão	2°C

3.3 Procedimento de captação de imagens

Para que houvesse homogeneidade de procedimento na recolha/registo das imagens que ocorreu ao longo de vários dias, estabeleceu-se um procedimento de medição:

- Definição da zona de medição, para que esta seja sempre a mesma ao longo das diversas medições;
- Registo das condições climáticas (céu limpo, parcialmente nublado, completamente nublado e chuva);
- Registo do dia e hora de início das medições;
- Obtenção das imagens com ângulo perpendicular e dois oblíquos a diferentes distâncias;
- Registo da incidência solar na zona de medição (ação direta, indireta do sol ou sombra);
- Registo da temperatura, humidade relativa e velocidade do vento (os registos relativos a este dado surgem no Anexo A).

Os dados relativos ao último foram obtidos no Instituto de Geofísica da Universidade de Coimbra, em função dos dias e horas de medição.

As medições realizaram-se durante os meses de Maio e Junho, sob diferentes condições climáticas e em diferentes períodos do dia: manhã, meio-dia, tarde, pôr-do-sol e à noite.

3.4 Análise a fachadas de edifícios

3.4.1 Edifício A

O Edifício A foi construído em 1999, pertencente ao Departamento de Engenharia Civil, e situa-se no Pólo II da Universidade de Coimbra. As fachadas são revestidas com sistema de ETICs, caracterizado por ser um revestimento delgado com isolamento pelo exterior e com painéis de pedra coladas na parte inferior. A cor do revestimento é o bege. As partes das fachadas analisadas orientam-se a Sul (S), a Este (E) e a Norte (N), Figura 3.2. Este edifício tem uma utilização de carácter coletivo e é apenas utilizado durante o dia.

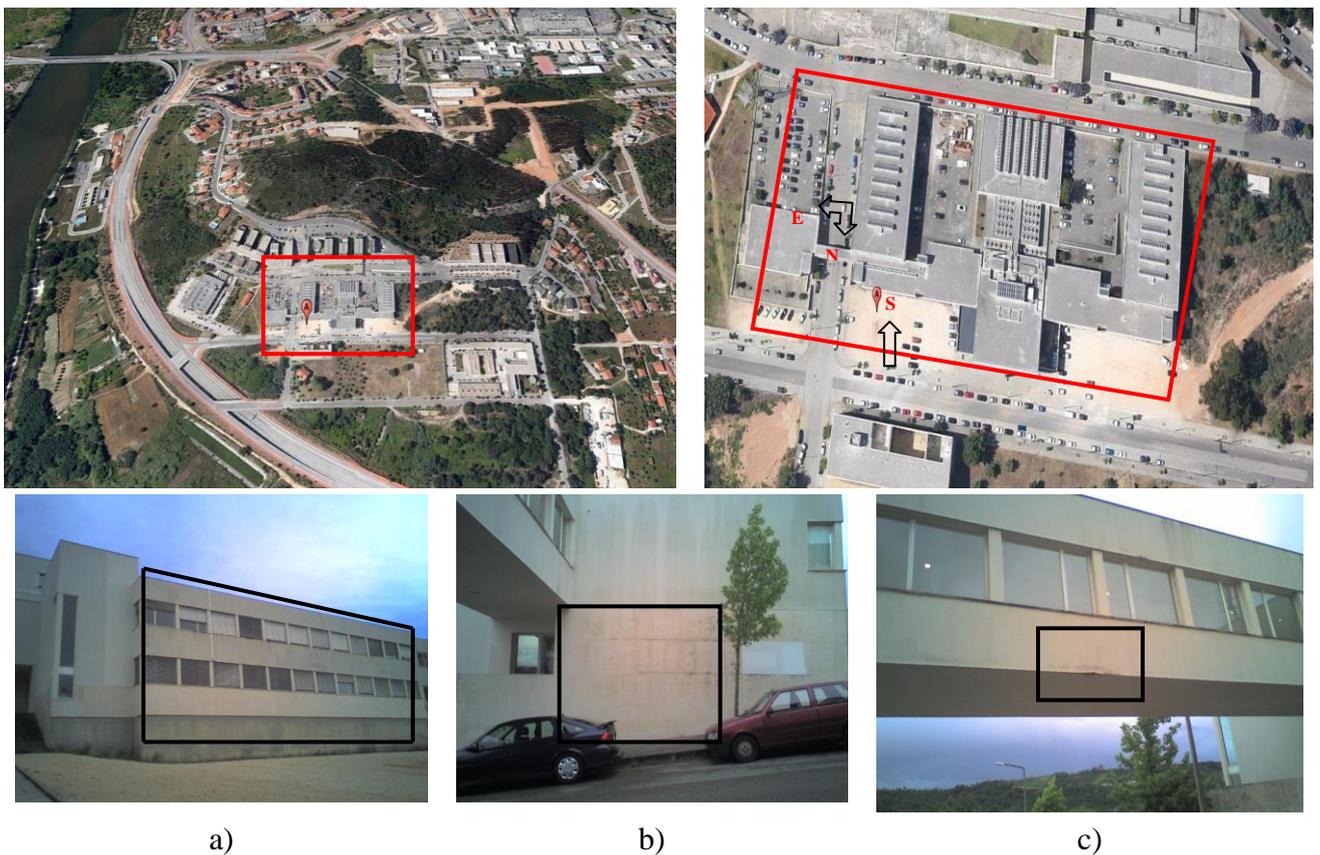


Figura 3.2- Localização e orientação das fachadas do Edifício A: a) Fachada Sul; b) Fachada Este; c) Fachada Norte.

- **Fachada Sul (S)**

No primeiro dia de medições (21 de Maio) observaram-se a partir de diferentes ângulos e a diversas distâncias, manchas amarelas em determinadas zonas com uma diferença de temperatura de cerca de 4°C. Nas medições dos dias seguintes (26,30 e 31 de Maio), essas manchas desapareceram, o que levou à conclusão de que se tratava de escorrências de água, motivadas pela chuva que se fizera sentir nas horas imediatamente anteriores às medições, como se pode observar na Figura 3.3. Mas o facto de as manchas só se apresentarem em determinados locais e não ao longo da fachada (Figura 3.3-b), pode evidenciar um problema no rufo ou capeamento da construção.

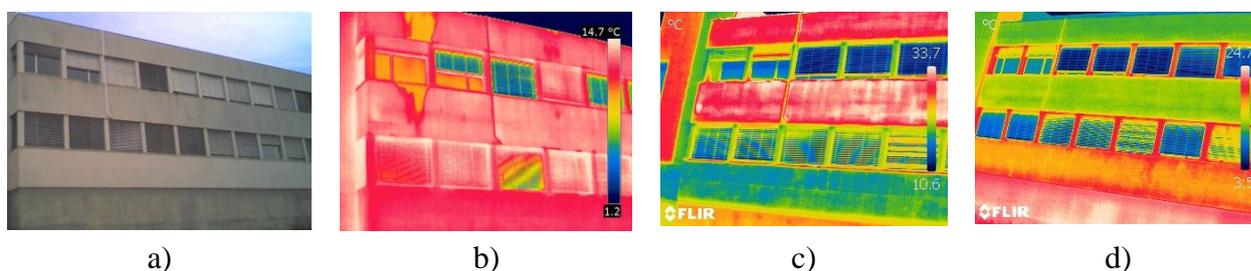


Figura 3.3- Imagens recolhidas em diferentes dias: a) Fotografia digital da fachada analisada; b) Termograma recolhido depois de chover; c) e d) recolhido em dias sem chuva.

Nesta fachada podemos observar 3 tipos de elementos: o betão armado à vista, os painéis de pedra colada e o revestimento com isolamento pelo exterior (ETICs). Ao longo das medições foi possível observar o comportamento de cada elemento exterior (Figura 3.4). O ETICs é o elemento mais influenciado pela ação da radiação solar, devido a ser o mais leve e isolante, o que o leva a aquecer e arrefecer com maior rapidez. Isto é comprovado pela diferença entre a temperatura máxima (32,1°C) e a temperatura mínima (13,9°C), registadas, respetivamente, ao meio-dia e à noite.

Por outro lado, materiais com maior massa, como é o caso do betão, têm uma maior capacidade de armazenamento e conservação de calor. O betão apresenta, por isso, temperaturas superiores aos restantes em todos os períodos do dia (14,5°C de manhã, 26,4°C de tarde e 23,9°C de noite), à exceção do meio-dia (27,8°C), devido à sensibilidade do ETICs à radiação solar direta.

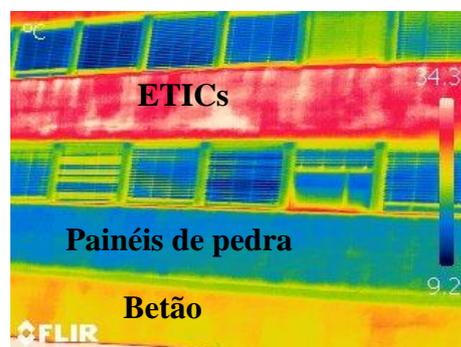
Já os painéis de pedra são os menos sensíveis à radiação solar. Prova disso é o facto de apresentarem sempre a temperatura mais baixa durante o período diurno (12,7°C pela manhã, 22,9°C ao meio dia e 19,4°C à tarde) a contrastar com a temperatura mais elevada durante a noite (15,7°C), quando comparado com o ETICs, pois é mais pesada e como tal necessita de mais tempo de arrefecimento. No entanto, o betão continua a ser o mais quente por ser o mais pesado e por necessitar de ainda mais tempo para dissipar a energia acumulada.

O vento também tem uma contribuição influente no ETICs, pois pode provocar o seu rápido arrefecimento. Este facto está evidenciado no período da tarde do dia 26 de Maio, em que os materiais estão mais sujeitos à ação da radiação solar direta, seria de esperar que o ETICs (23,5°C) apresentasse uma temperatura superior relativamente ao betão (26,4°C). No entanto, tal não acontece devido à velocidade que o vento apresentava nesse dia (4.8m/s).

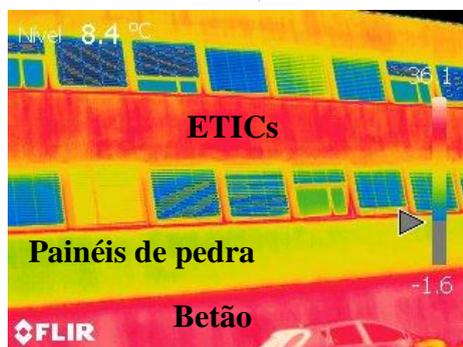
A partir do *software* FLIR QuickReport, obteve-se a temperatura de cada elemento da fachada, através da qual foi possível perceber melhor o comportamento de cada um dos elementos que a constituem.



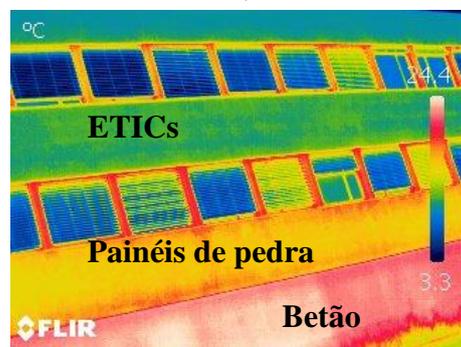
a)



b)



c)



d)

Figura 3.4- Comportamento dos diferentes elementos na fachada nos diversos períodos do dia:
a) Manhã; b) Meio-dia; c) Tarde; d) Noite

A temperatura de cada elemento encontra-se no Quadro 3.3.

Quadro 3.3- Quadro síntese com a temperatura de cada elemento em diferentes períodos do dia.

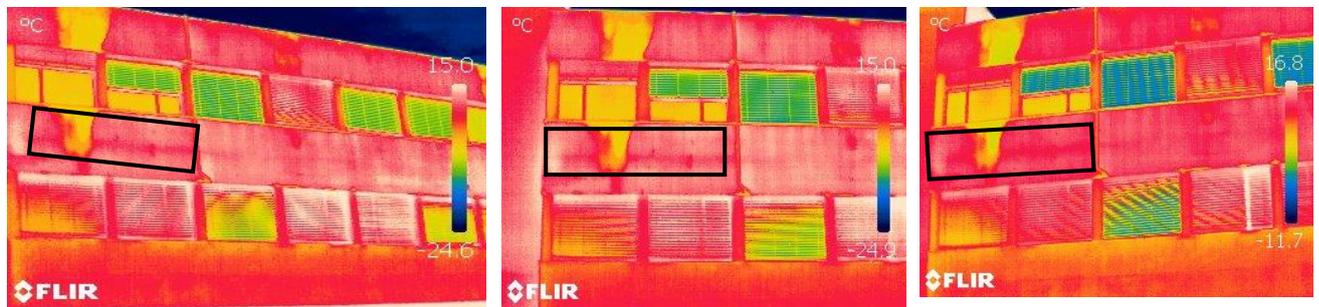
Elementos da fachada	Temperaturas			
	Manhã	Meio-dia	Tarde	Noite
Betão	14,5°C	27,8°C	26,4°C	23,9°C
Painéis de Pedra	12,7°C	22,9°C	19,4°C	15,7°C
ETICs	13,7°C	32,1°C	23,5°C	13,9°C

Ao longo do revestimento de ETICs, são observadas diversas manchas nos termogramas que se mantêm ao longo dos diferentes dias. Depois de uma observação atenta entre as fotografias digitais e os termogramas da Figura 3.5, referentes às diferentes alturas do dia, verificou-se que a geometria do contraste corresponde a manchas escuras e claras que a fachada apresenta, como consequência das escorrências a que está submetida. As manchas de mais escura têm uma maior capacidade de absorção de energia, mostrando um temperatura superior em relação às de cor mais claras.

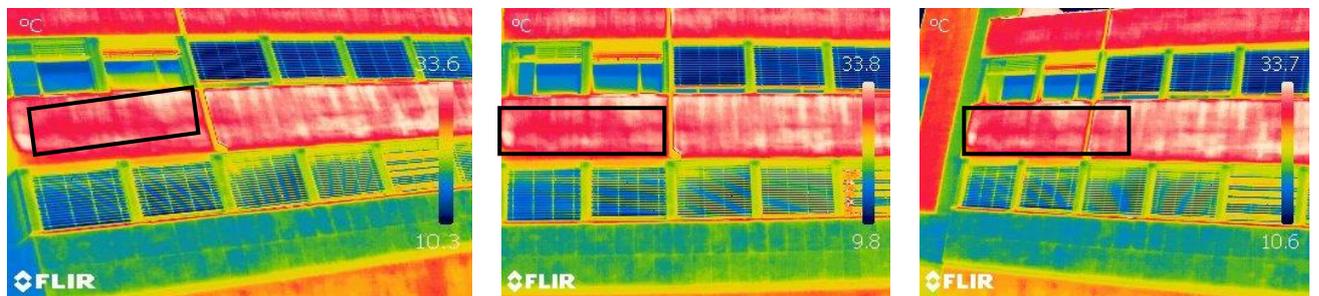
A Figura 3.5 revela manchas horizontais, que na fotografia digital corresponde a uma banda horizontal mais clara, enquanto as manchas verticais apresentam-se com temperaturas superiores devido a corresponderem às manchas mais escuras. Estas manchas escuras, apenas são visíveis durante o dia devido à ação solar estar presente. No entanto, estas manchas são mais na fachada Este do mesmo edifício, como pode ser visto na Figura 3.6. Deste modo a cor é um fator a ter em conta quando se efetua uma análise termográfica de sistema de ETICs. Neste caso, poderia ter induzido o erro de se considerar uma patologia no revestimento da fachada, como por exemplo nas placas de revestimento.



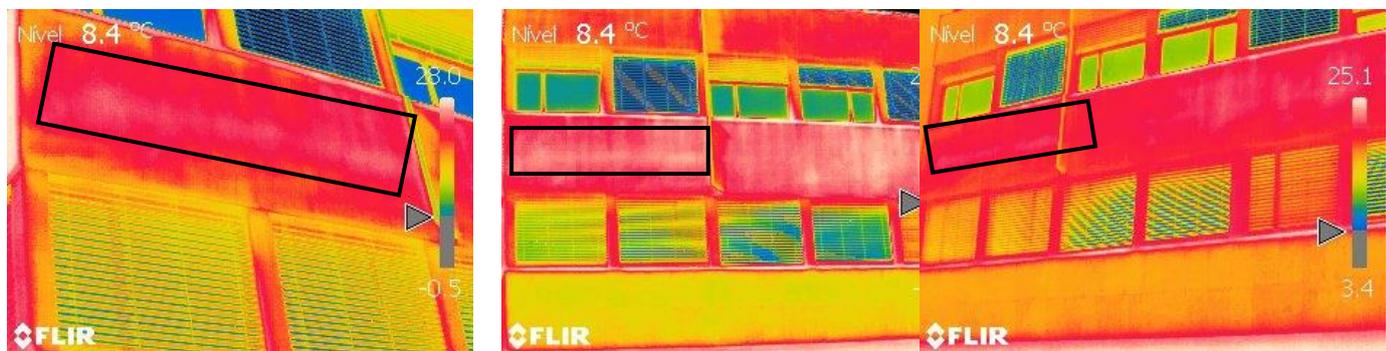
a)



b)



c)



d)

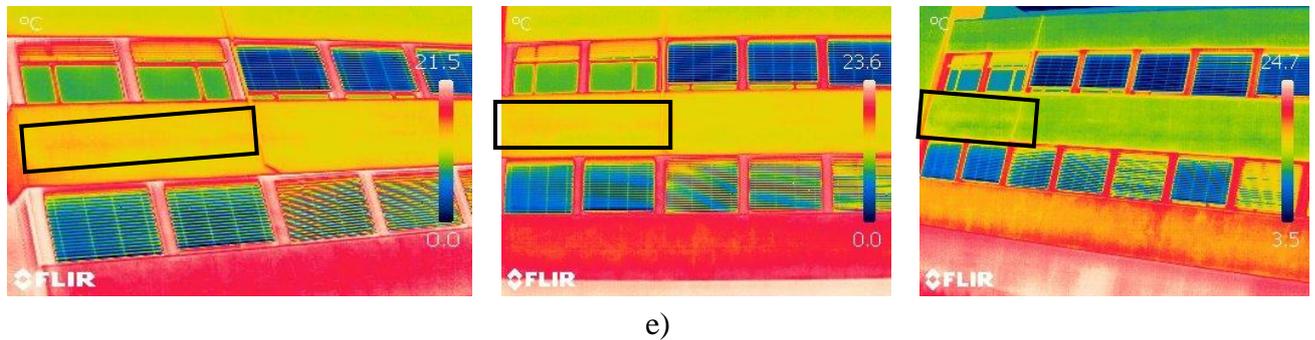


Figura 3.5-Identificação de manchas no ETICs em diferentes períodos do dia: a) Foto digital; b) Manhã; c) Meio-dia; d) Tarde; e) Noite.

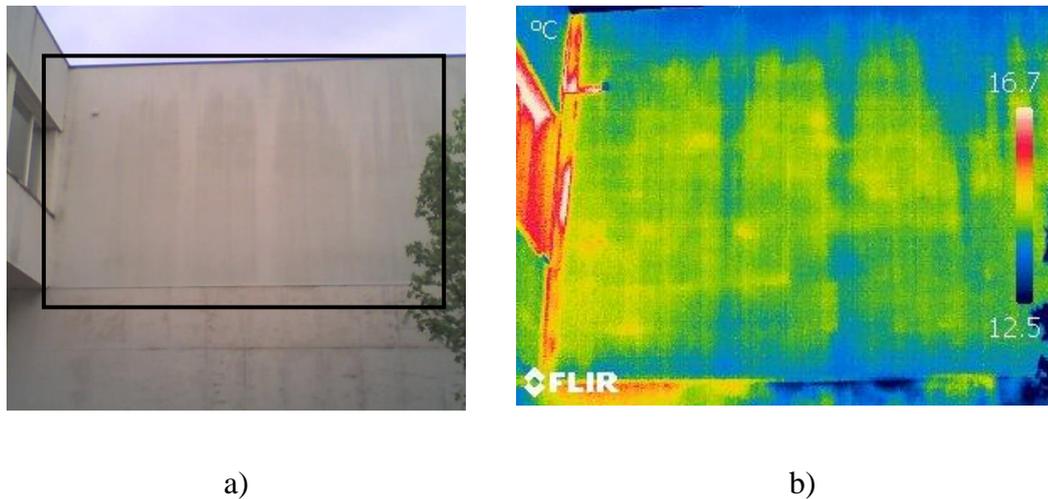


Figura 3.6- Contraste de cores devido às manchas presentes na fachada Este: a) Fotografia digital; b) Termograma.

- **Fachada Este (E)**

Nesta fachada estudaram-se apenas os painéis de pedra. Da sua análise deve destacar-se, por um lado, a observação de pontos frios (Figura 3.7-b) no primeiro dia de medição, que vieram a desaparecer nas medições efetuadas em dias posteriores (Figura 3.7-c), motivadas, como aconteceu na fachada analisada anteriormente, pela precipitação ocorrida; e por outro lado, diversas reflexões Figura 3.8, originadas pela presença de uma árvore e a automóveis estacionados nas suas imediações.

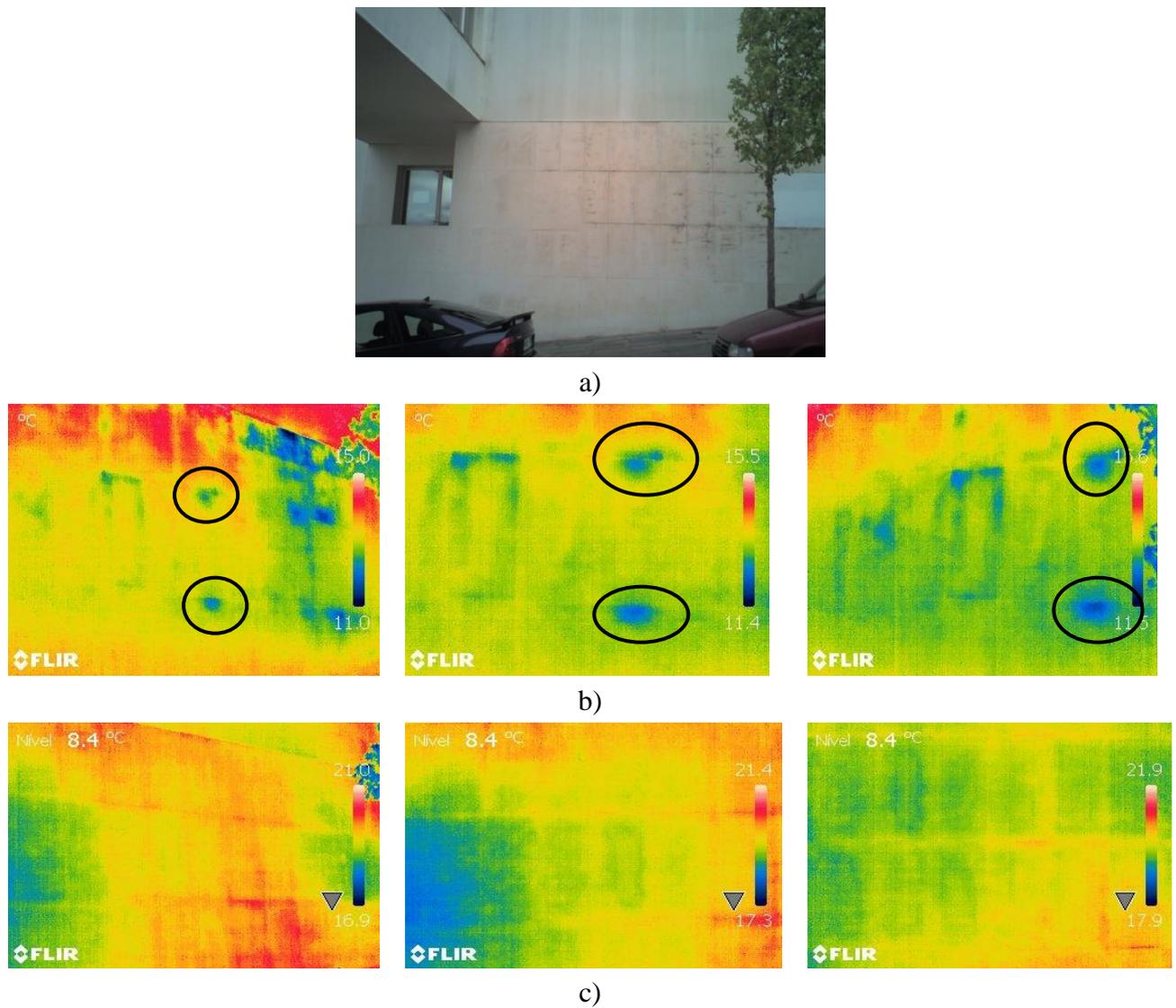


Figura 3.7- Identificação de pontos frios na fachada Este: a) Fotografia digital; b) Medição em dia com precipitação; c) Medição sem precipitação.



Figura 3.8- Reflexões observadas de árvores e carros.

Uma observação dos painéis à vista desarmada permite-nos verificar a presença de uma ligeira descoloração central (Figura 3.9-b), que também aparece repercutida nos termogramas (Figura 3.9-c). Esta descoloração está associada à degradação a que a fachada está sujeita. Na Figura 3.9-a mostra que os painéis de pedra protegidos pela parte superior da passagem aérea, por não estarem expostos a tantos fatores de degradação, se encontram em melhor estado. Na presença da radiação solar direta, a delimitação destes painéis é bem visível em relação às restantes alturas do dia sem ação solar.

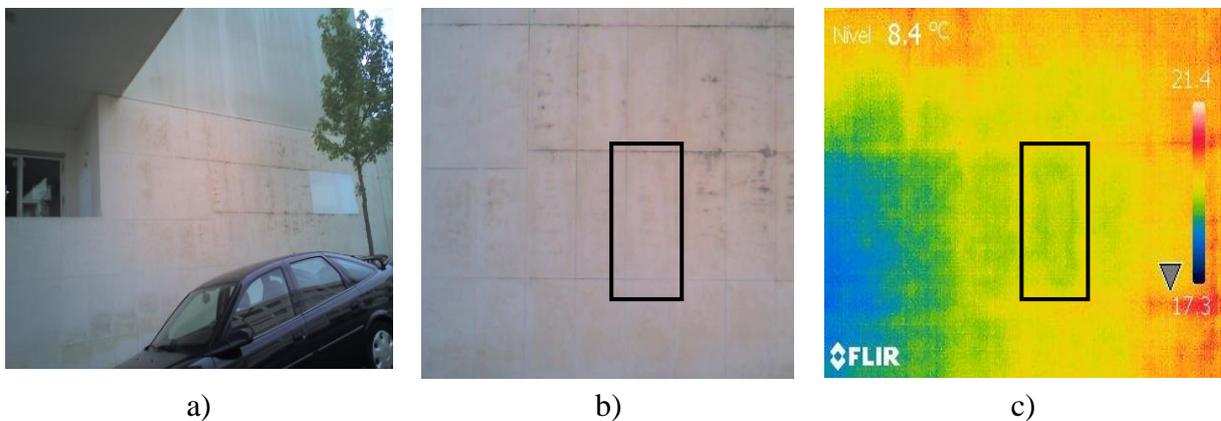


Figura 3.9-Identificação da descoloração nos painéis de pedra: a) Painéis de pedra protegidos em relação aos não protegidos; b) Descoloração em imagem digital; c) Descoloração em termograma.

- **Fachada Norte**

Esta fachada pertence a uma passagem aérea, e tem a particularidade de apresentar um destacamento do sistema de ETICs. Na sua parte superior, encontra-se uma mancha escura que provoca nos termogramas um contraste bem visível em relação à superfície adjacente. Este contraste pode estar associado à cor escura da mancha ou ao empolamento da tela se esta se estender até aí. Uma observação mais pormenorizada do local, permitiu constatar que o empolamento da tela se estendia até mais acima, criando uma caixa de ar. Durante o dia, o destacamento apresenta-se nos termogramas com uma temperatura superior em relação à noite, como pode ser visto na Figura 3.10.

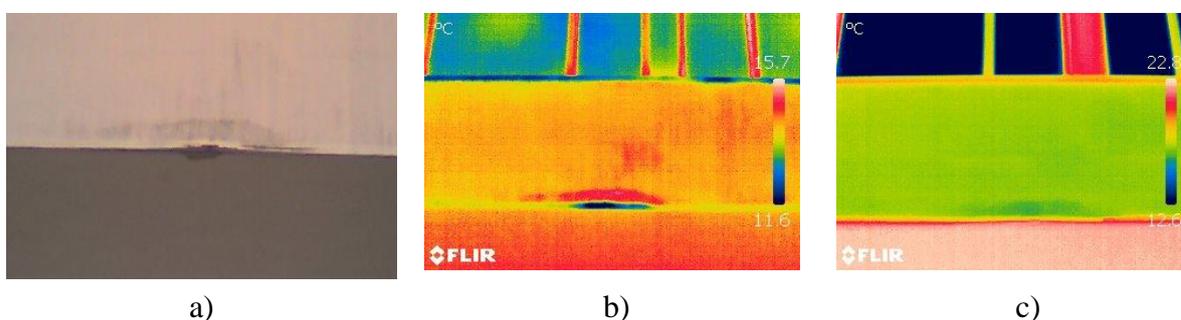


Figura 3.10- Destacamento do sistema ETICs: a) Fotografia digital; b) Dia; c) Noite

3.4.2 Edifício B e C

Ambos os edifícios foram construídos em 1955 e localizam-se no Bairro Norton de Matos, assim como são caracterizados por habitação multifamiliar com uso contínuo.

No Edifício B foi apenas foi analisada a fachada Oeste (W) e não foi possível variar muito os ângulos de registo de imagens devido à escassez de espaço disponível, originada pela presença de edifícios nas suas proximidades, quer em frente quer lateralmente, agravada pelo facto de existir uma esplanada de um comércio e nesta existirem guarda-sóis abertos, que impediram uma melhor captação, Figura 3.11. A fachada deste edifício, que apresenta umas fissuras e alguns destacamentos de reboco, é em argamassa revestida por uma pintura de cor cinzenta.

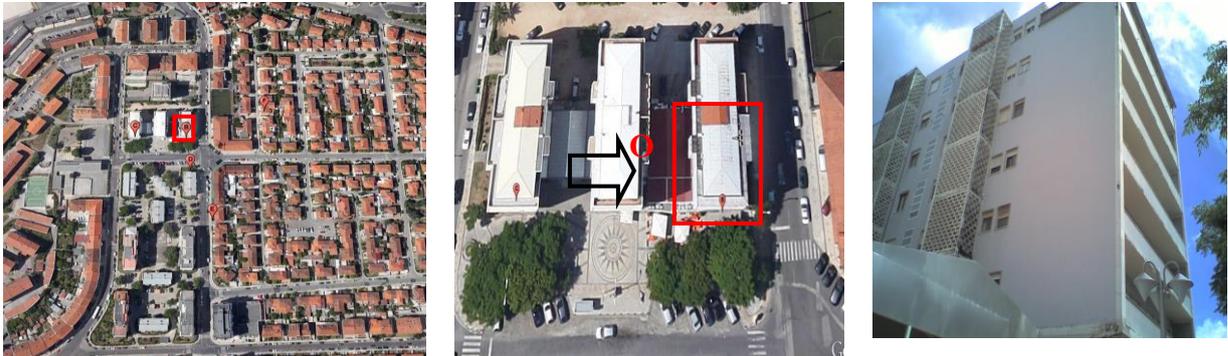


Figura 3.11- Localização e orientação da fachada do Edifício B.

Relativamente ao Edifício C, a fachada analisada foi a Este (E), Figura 3.12, que apresenta um revestimento com uma tela asfáltica impermeabilizante de cor cinzenta. Na fachada é possível visualizar as delimitações da tela, assim como empolamento em alguma das suas partes. Também neste edifício houve a limitação de não se poder variar muito o ângulo e distância, devido à presença de edifícios, quer lateralmente quem em frente.



Figura 3.12- Localização e orientação da fachada do Edifício C.

Das observações efetuadas no Edifício C, Figura 3.13, verificou-se que o único dia em que não foi possível identificar a delimitação das telas foi a dia 27 de Maio, dia em que o céu se encontrava completamente nublado. Sendo desaconselhado nestes dias medições para este tipo de revestimento.

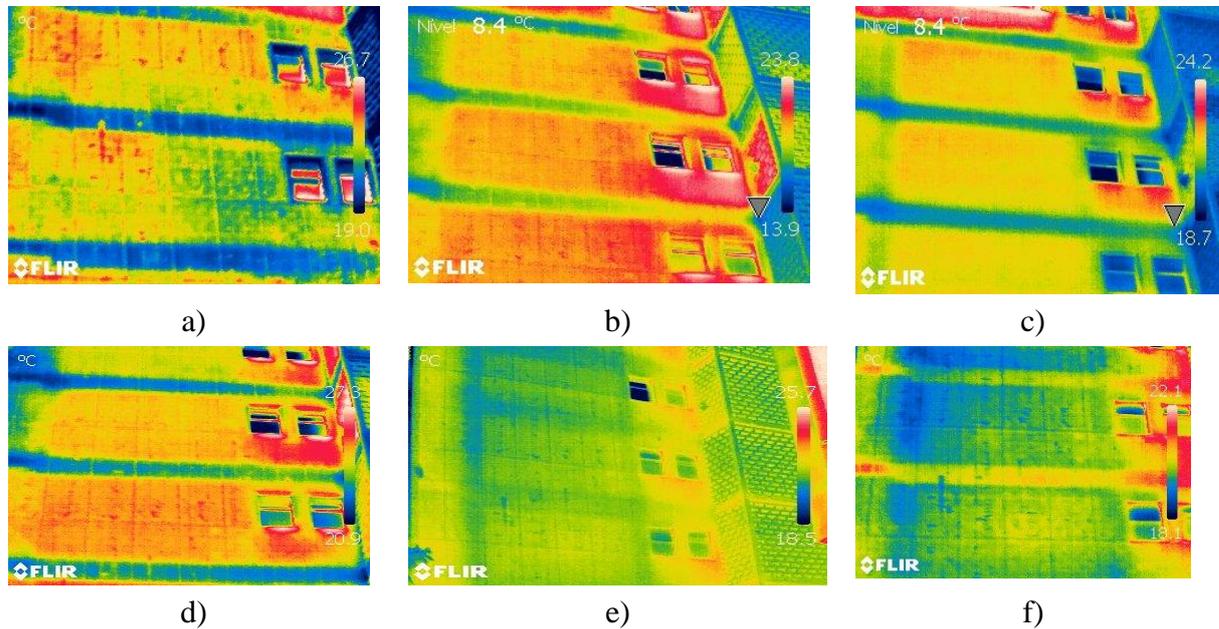


Figura 3.13-Identificação da delimitação das telas em diferentes dias: a) 22 de Maio; b) 26 de Maio; c) 27 de Maio; d) 30 de Maio; e) 31 de Maio; e) 2 de Junho.

Como o Edifício B e C são estruturalmente idênticos, apenas contam com revestimentos e orientações de fachada analisadas diferentes, procedeu-se a uma comparação das imagens termográficas entre ambos, com o intuito de perceber se com as mesmas condições climáticas e com a variação da orientação e do tipo de revestimento, os elementos estruturais de cada edifício são visíveis em simultâneo.

Ambos os edifícios são estruturalmente constituídos por alvenaria, vigas e com um estreitamento destas junto à varanda, pilares junto às janelas e pilares junto às varandas. Desta forma, através dos termogramas obtidos verificou-se que elementos estruturais foram possíveis de identificar em função do dia, hora e condições meteorológicas, Quadro 3.4.

Quadro 3.4- Quadro síntese dos elementos estruturais visualizados dos Edifícios B e C durante diferentes dias.

Estado do céu	Parcialmente nublado	Parcialmente nublado	Completamente nublado	Parcialmente nublado	Limpo	Limpo
Elementos/ Dia -Hora	22/Maio- 11h35	26/Maio- 15h20	27/Maio-17h55	30/Maio- 14h15	31/Maio- 21h00	1/Junho- 23h00
Alvenaria	■ ●	■		■ ●	■	■
Pilares junto janelas					■ ●	
Pilares junto varanda			●		■ ●	■ ●
Vigas	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●
Estreitamento da viga	■ ●	■ ●	■ ●	■ ●	■	■ ●
■ - Edifício B; ● - Edifício C						

No dia 31 de Maio, ao final da tarde, foi possível identificar todos os elementos, à exceção da alvenaria do Edifício C. Reparou-se que neste, a alvenaria apenas se mostrava visível quando a fachada estava ou tinha estado sob ação solar (período de aquecimento). No dia 30 de Maio, por volta das 14h15, foi possível observar a alvenaria, enquanto que uma hora depois de um outro dia (26 de Maio), já não foi possível essa observação. Este facto deve-se à orientação da fachada. Como a fachada do Edifício C está voltada a Este, esta recebe radiação solar durante a parte da manhã e início da tarde, pelo que a identificação da alvenaria dá-se neste período. Enquanto que em fachadas voltadas a Oeste, como é o caso de Edifício B, esta é possível a identificação da alvenaria durante os períodos da tarde. O dia de céu completamente nublado (27 de Maio) não permitiu a visualização da alvenaria em nenhum dos edifícios.

Os pilares da varanda, em ambos os edifícios, foram observados nos dias de céu limpo, ao final da tarde e à noite. No Edifício C estes também foram observados no final da tarde do dia 27 de Maio, com céu completamente nublado. Os pilares junto à janelas, como estão mais protegidos só foram visíveis no dia de céu limpo, ao final da tarde. As Figura 3.14 e Figura 3.15 mostram os elementos estruturais que foram visualizados nos Edifícios B e C, respetivamente.

As vigas e o estreitamento destas foram visíveis em todos os dias das medições no Edifício B, ao passo que no C, não foram visíveis ao pôr-do-sol. Verificando-se as mesmas condições

atmosféricas, as diferenças de identificação só se poderão associar à orientação Oeste da fachada do Edifício B, que recebe sol durante toda a tarde, ao contrário do que acontece com a fachada Este do Edifício C.

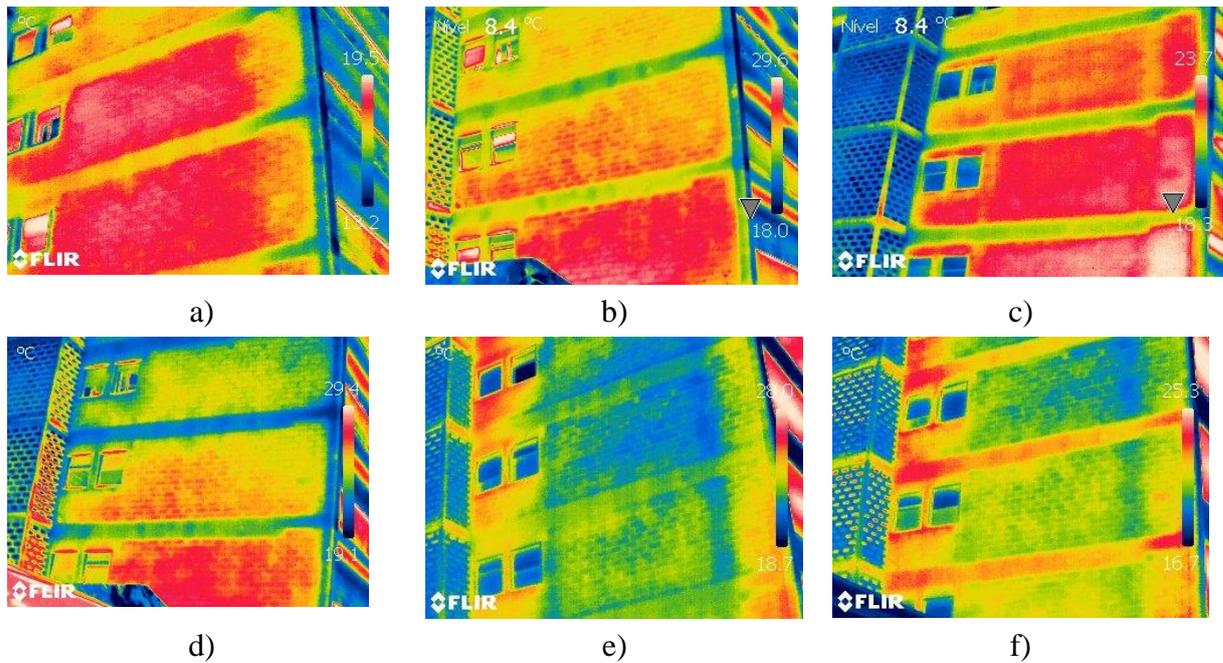
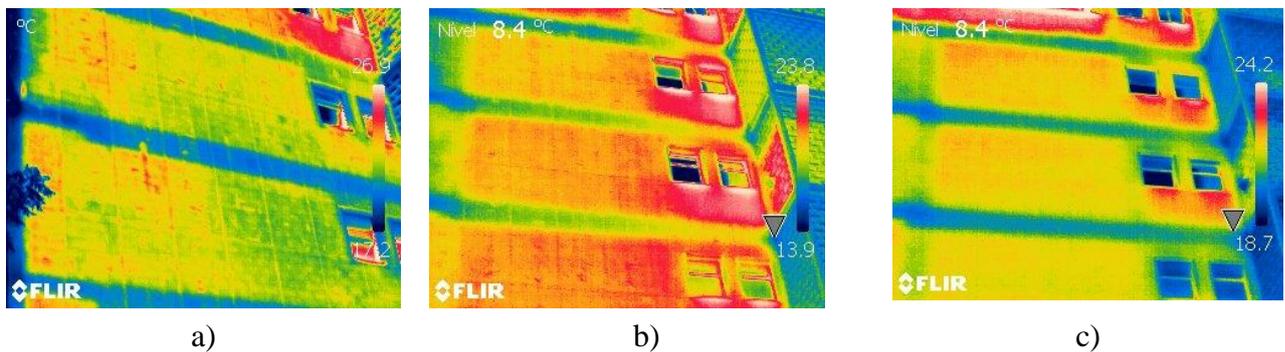


Figura 3.14- Identificação dos elementos estruturais do Edifício B em diferentes dias: a) 22 de Maio; b) 26 de Maio; c) 27 de Maio; d) 30 de Maio; e) 31 de Maio; f) 1 de Junho.



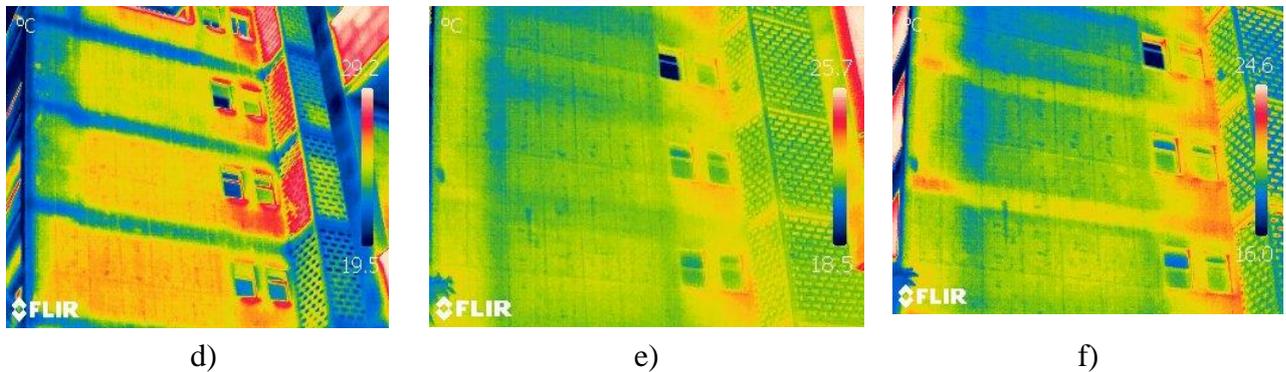


Figura 3.15- Identificação dos elementos estruturais do Edifício C em diferentes dias: a) 22 de Maio; b) 26 de Maio; c) 27 de Maio; d) 30 de Maio; e) 31 de Maio; f) 1 de Junho.

3.4.3 Edifício D

O Edifício D foi construído em 1955, localiza-se no Bairro Norton de Matos e caracteriza-se por ser uma habitação multifamiliar de uso contínuo. Este edifício é revestido a argamassa com pintura branca, à exceção da fachada orientada a Norte que é revestida por uma chapa ondulada de cor verde. Quanto ao estado de conservação, as fachadas do edifício apresentam algum grau de degradação, visível nas fissuras, escorrências e colonização biológica. As fachadas analisadas foram a Norte (N) e a Oeste (W), Figura 3.16. A obtenção de imagens sofreu alguma perturbação, ainda que mínima, devido à presença de alguma vegetação e de um poste de iluminação junto às fachadas analisadas.

Na análise realizada neste edifício focou-se nos elementos mais característicos que este apresentava, em especial, no que respeito à presença de colonização biológica e aos elementos estruturais, como a alvenaria, os pilares e as vigas, bem como a presença de fissuras existentes e caixas de estore.

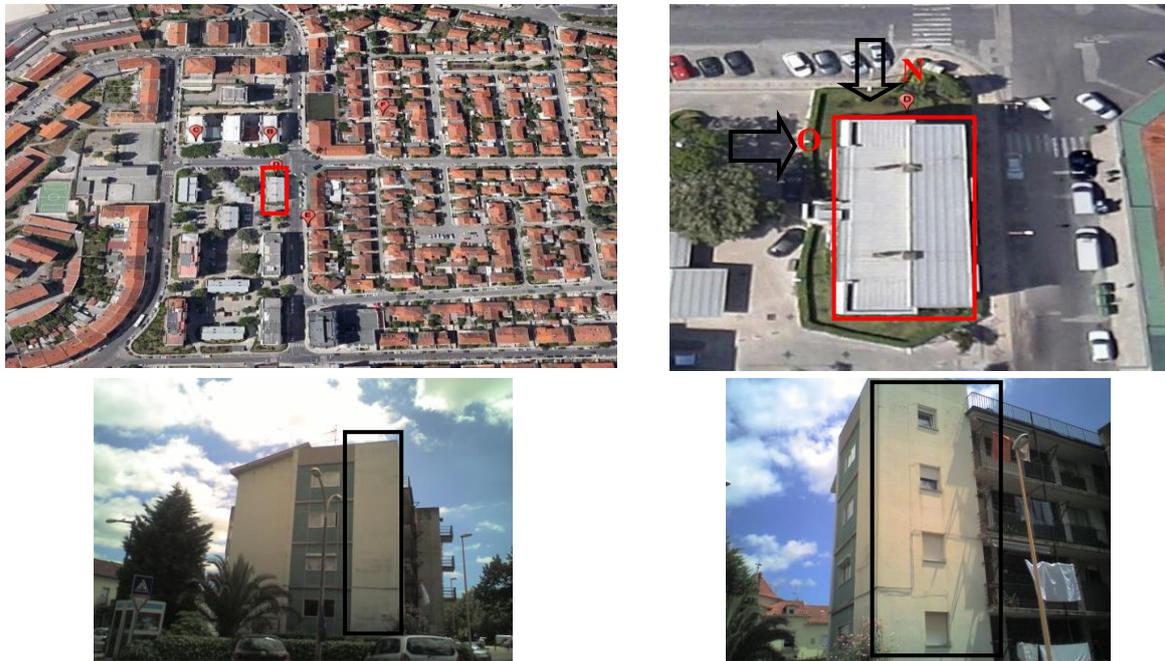


Figura 3.16- Localização e orientação das fachadas do Edifício D.

- **Fachada Norte**

Nas duas primeiras colunas da Figura 3.17, pode observar-se a colonização biológica e a sua representação nos termogramas ao longo dos dias. Sendo que esta apenas não se observou no dia 1 de Junho, Figura 3.17-h, nos termogramas obtidos durante a noite, devido à incidência da luz artificial proveniente de postes de iluminação junto ao edifício.

A fissura pode ser observada na terceira coluna da Figura 3.17, bem como a sua representação nos termogramas. Notou-se que esta também não foi visível no dia 1 de Junho, o que pode também estar associado a essa presença de luz artificial ou falta de gradiente térmico entre o interior e o exterior do edifício.

A alvenaria só não foi visível nos termogramas obtidos nos dias 21 e 31 de Maio. Em relação ao primeiro dia, Figura 3.17-b, porque ocorreu precipitação horas antes da medição que provocou o arrefecimento da fachada além de ter impedido a receção de qualquer radiação solar. O outro dia foi o 31 de Maio, ao final da tarde (pôr do sol), Figura 3.17-g. Este não é o período adequado para medições, como foi referido em várias referências bibliográficas,

devido ao tempo que o calor armazenado demora a dissipar, devendo-se assim esperar algumas horas para a sua observação.

Apesar de estes dias terem tido velocidades de vento consideravelmente elevados em relação aos restantes, não foi possível concluir que este tenha alterado os resultados. Visto que no primeiro dia se tinha o efeito da chuva presente, enquanto que no outro dia se tinha o momento inapropriado para a medição, devido ao pôr do sol.

As vigas e os pilares foram observados em todos os dias da campanha termográfica. Como estes são constituídos por um material pesado (betão), tal como vimos, potencia a retenção e o armazenamento de calor durante o dia ao mesmo tempo que retarda o seu tempo de dissipação, razões pelas quais é facilmente captado pela câmara termográfica.

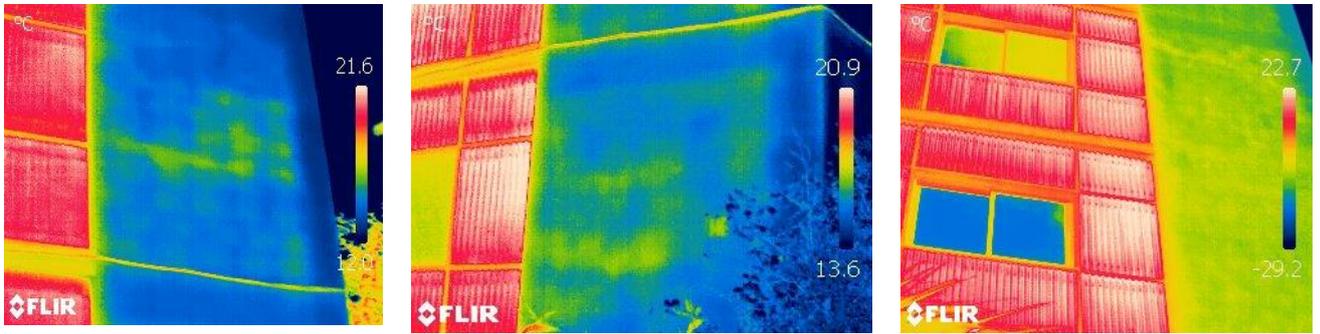
O Quadro 3.5 apresenta um resumo do que é visível nesta fachada e na Figura 3.17 a visualização destes nos diversos dias das medições termográficas.



a)



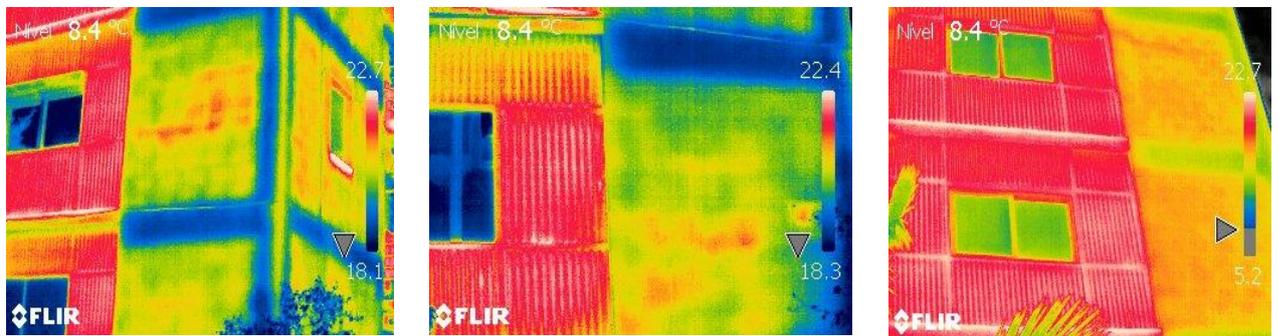
b)



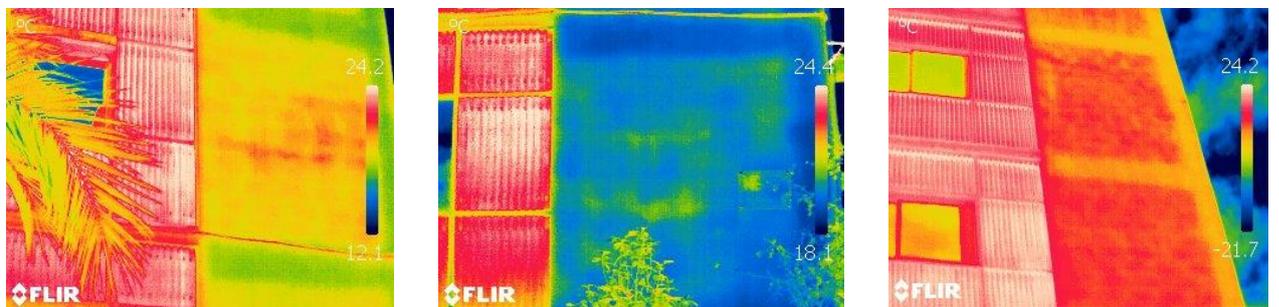
c)



d)



e)



f)

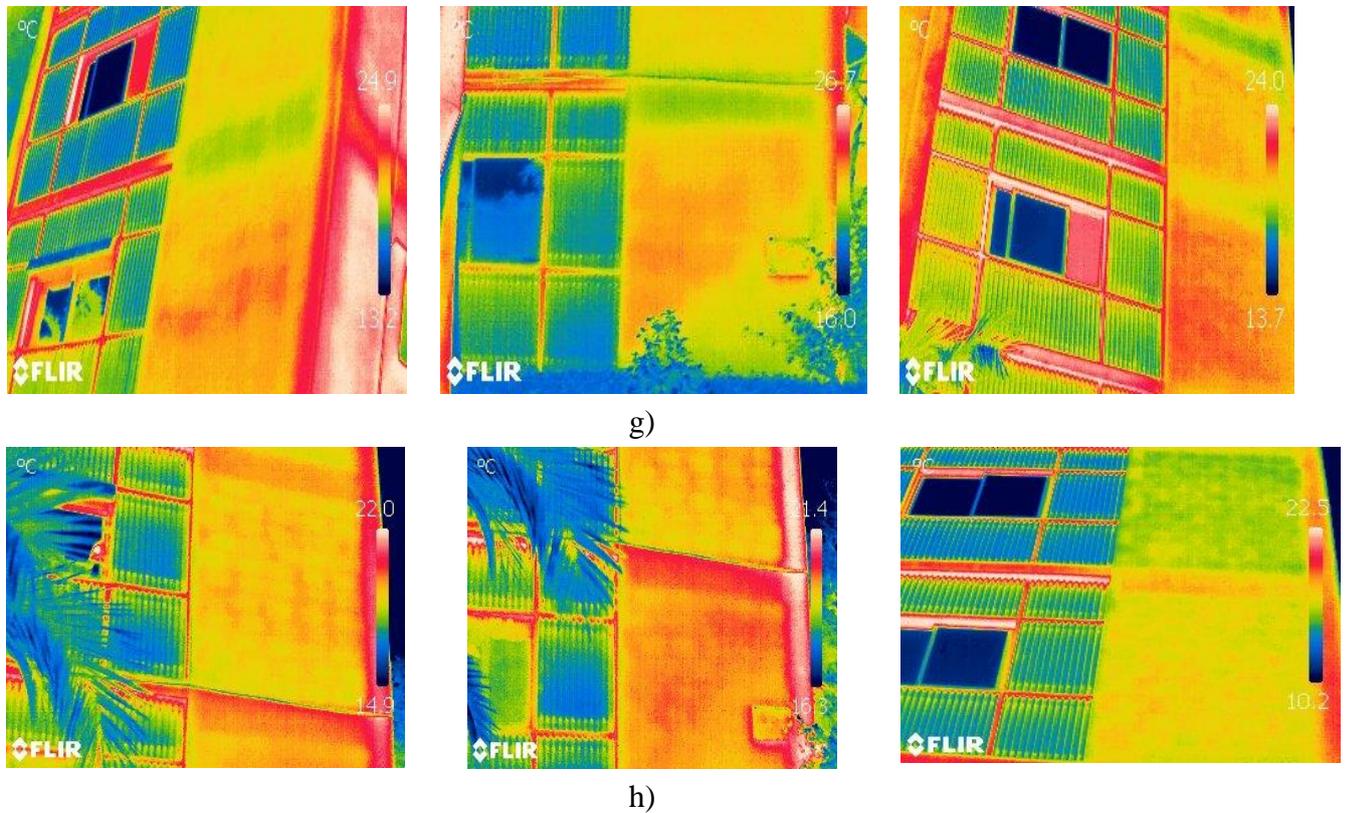


Figura 3.17- Identificação dos elementos estruturais, fissuras e colonização biológica na Fachada Norte do Edifício D: a) Fotografia digital; b) 21 de Maio; c) 22 de Maio; d) 26 de Maio; e) 27 de Maio; f) 30 de Maio; g) 31 de Maio; h) 1 de Junho.

Quadro 3.5-Quadro síntese dos elementos e heterogeneidades visualizados na Fachada Norte.

Dia-hora/ Elemento	21/Maio- 10h13	22/Maio- 11h16	26/Maio- 15h10	27/Maio- 17h40	30/Maio- 13h59	31/Maio- 20h42	1/Junho- 22h56
Alvenaria		◆	◆	◆	◆		◆
Pilares	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Vigas	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Colonização biológica	◆	◆	◆	◆	◆	◆	
Fissura	◆	◆	◆	◆	◆	◆	

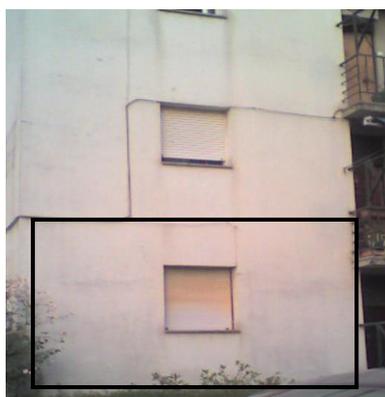
- **Fachada Oeste (W)**

A alvenaria, vigas e pilares têm o mesmo comportamento do que os da fachada Norte, devido às mesmas razões enunciadas. A colonização biológica nesta fachada, quando comparada com a fachada Norte, revela um menor grau de desenvolvimento, que acaba por se repercutir na impossibilidade de identificação nos termogramas recolhidos. No dia 21 de Maio, Figura 3.18-b, o facto de a colonização biológica não ser visível pode dever-se a ter chovido e como a água cria um filtro que impossibilita o IV de atravessar e captar. No dia 1 de Junho, Figura 3.18-h, a colonização biológica não é visível, devido às razões enunciadas em relação à presença de luz artificial proveniente do poste de iluminação.

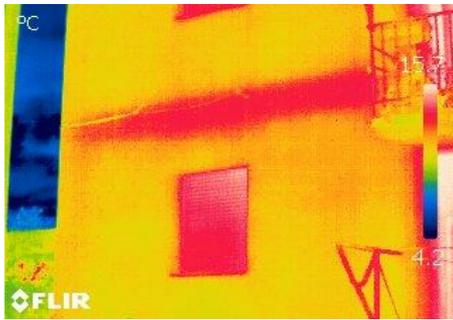
As escorrências apenas não foram visíveis no dia 1 de Junho devido às mesmas razões enunciadas para a colonização biológica.

O dia 27 de Maio com céu completamente nublado, Figura 3.18-e, foi sem sombra para dúvidas, o melhor dia para a visualização da caixa de estore, quer neste edifício quer nos outros, como o caso do Edifício F. Nos dias de céu parcialmente nublado, foi visível apenas quando esta estava sob ação da radiação solar (dias 26 e 30 de Maio). À noite esta também foi visível com uma temperatura inferior em relação às medições efetuadas durante o dia.

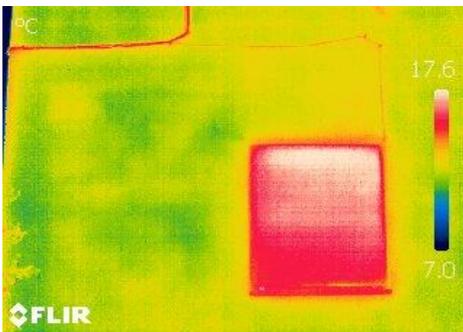
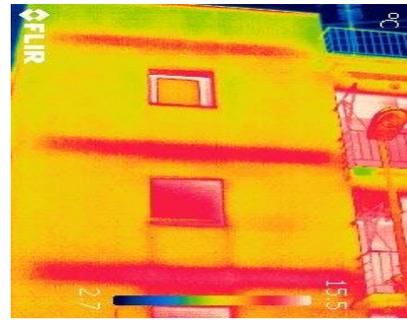
O Quadro 3.6 apresenta um resumo do que é visível nesta fachada e na Figura 3.18 a visualização destes nos diversos dias das medições termográficas.



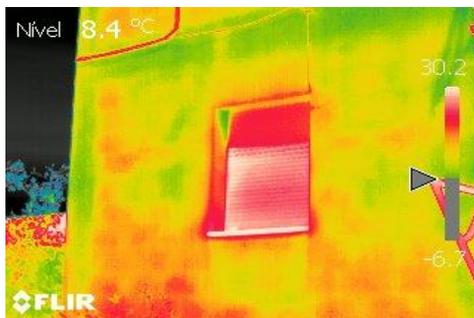
a)



b)



d)



f)



h)



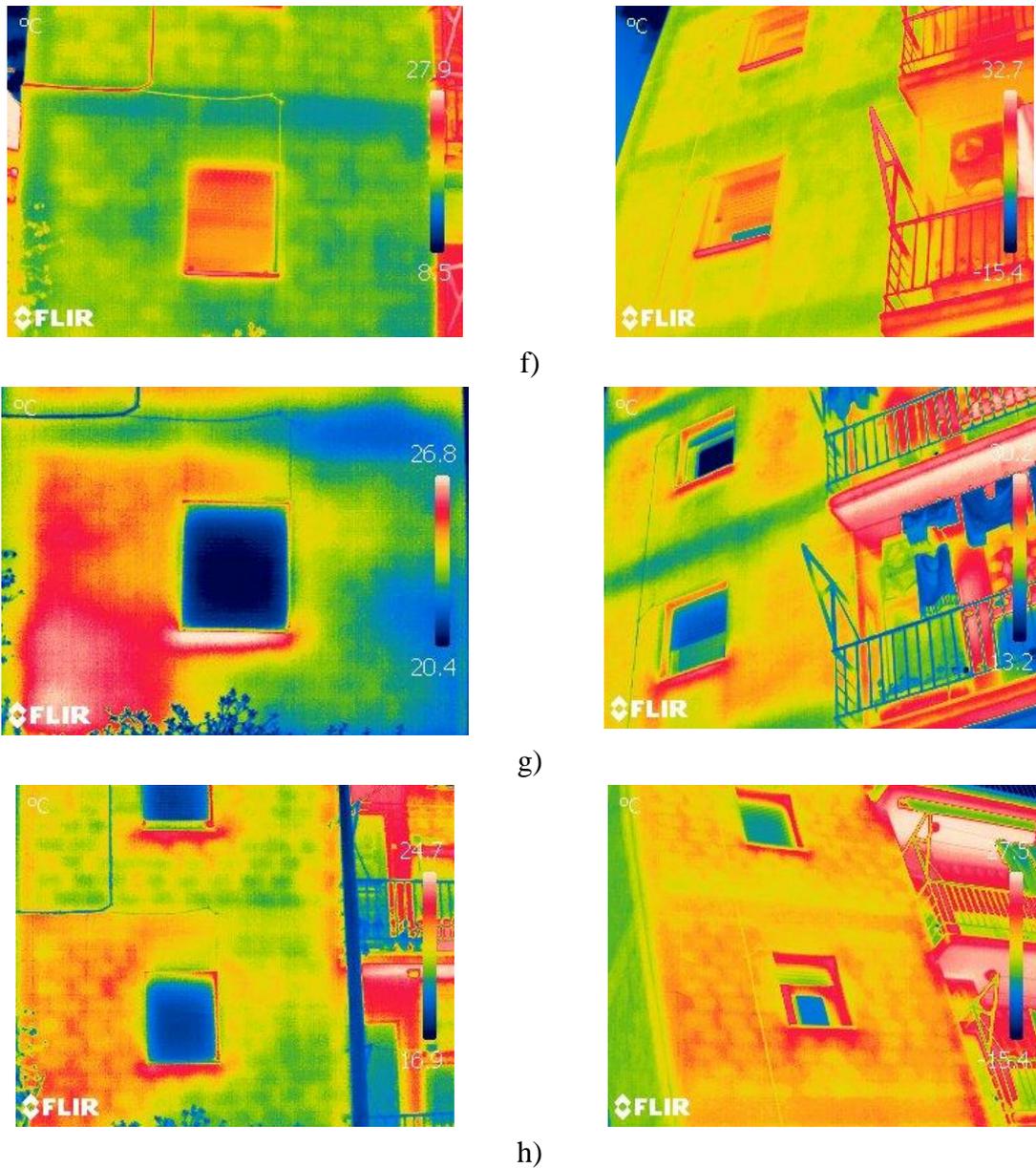


Figura 3.18- Identificação dos elementos estruturais, escorrências e colonização biológica na Fachada Oeste do Edifício D: a) Fotografia digital; b) 21 de Maio; c) 22 de Maio; d) 26 de Maio; e) 27 de Maio; f) 30 de Maio; g) 31 de Maio; h) 1 de Junho

Quadro 3.6- Quadro síntese dos elementos e heterogeneidades visualizados na Fachada Oeste.

Dia-hora/ Elemento	21/Maio- 10h13	22/Maio- 11h16	26/Maio- 15h10	27/Maio- 17h40	30/Maio- 13h59	31/Maio- 20h42	1/Junho- 22h56
Alvenaria		♦	♦	♦	♦		♦
Pilares	♦		♦	♦	♦	♦	♦
Vigas	♦		♦	♦	♦	♦	♦
Proliferação biológica		♦	♦	♦	♦	♦	
Escorrências	♦	♦	♦	♦	♦	♦	
Caixa de estore			♦	♦	♦		

3.4.4 Edifício E

Este edifício, Figura 3.19, foi construído em 1955, diz respeito a uma habitação unifamiliar, não é habitada de forma continuada, e situa-se no Bairro Norton de Matos. As fachadas apresentam-se revestidas com ladrilho do tio pastilha de piscina, Figura 3.19, apresenta um revestimento de ladrilho do tipo pastilha de piscina de cor castanha, a fachada analisada foi a Oeste (W). O edifício em geral apresenta-se em bom estado de conservação, registando-se apenas leves destacamentos da pastilha do ladrilho.



Figura 3.19- Localização e orientação da fachada do Edifício E.

Na análise de imagens obtidas (Figura 3.21) foi possível, nas janelas, identificar um padrão de cor relativo a temperaturas superiores que se manteve nas medições diurnas. Porém, na medição noturna, essas temperaturas sofreram uma inversão quando comparadas com as da restante fachada, como mostra a Figura 3.21. A geometria que o padrão das cores apresenta

permite concluir a existência de uma reentrância no interior do edifício na zona das janelas. E como na zona da reentrância a espessura do pano da parede é inferior tem como consequência um aumento de temperatura durante o dia, e ao fenómeno inverso no período noturno, leva a que esta durante o dia aqueça mais enquanto que durante a noite arrefeça mais rapidamente. Note-se que esta reentrância na janela continua sobre a mesma (Figura 3.20).

Uma outra justificação que pode ser adiantada para a explicação das manchas registadas nos termogramas junto à janela poderia ser a existência de um sistema de aquecimento aí colocado, localização muito comum em habitações deste período. Descartou-se, no entanto esta possibilidade, já que por outro lado, a casa não estava a ser habitada no período de registo de imagens termográficas, e, por outro lado, porque na época do ano em que foram obtidas já não é hábito recorrer ao aquecimento. Não foi possível analisar a fachada abaixo das janelas do piso inferior, por motivos de falta de acesso e vegetação junto a esta.

Neste edifício com revestimento de ladrilho do tipo pastilha de piscina, não é tão visível a alvenaria em relação a outros tipos de revestimento, nomeadamente os de argamassa. Embora no dia 27 de Maio, que contou com céu parcialmente nublado, esta tenha sido possível de identificar.

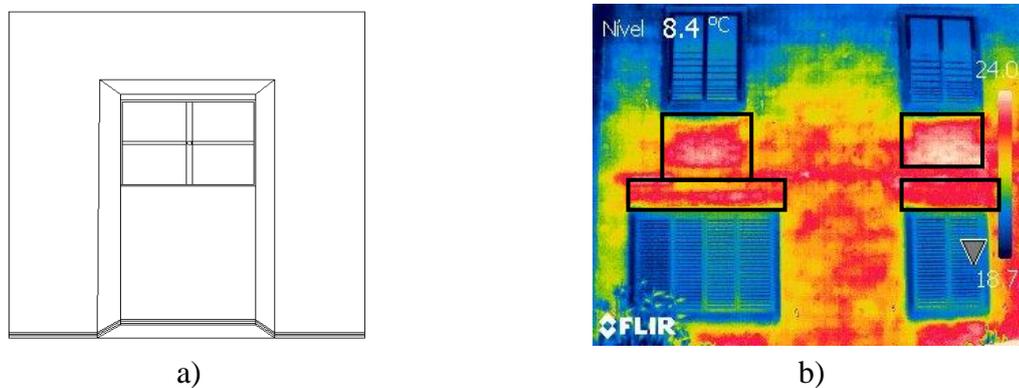
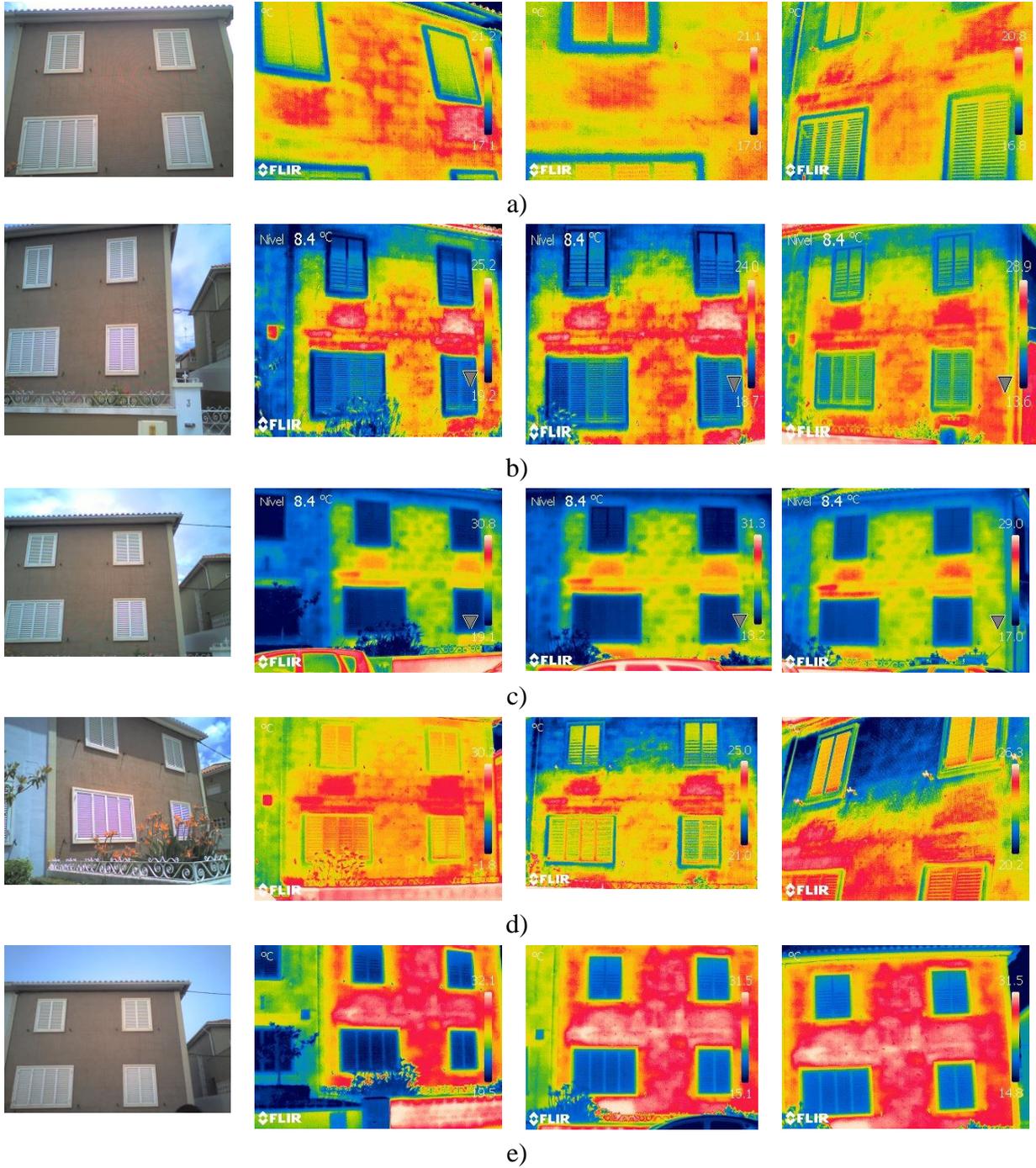
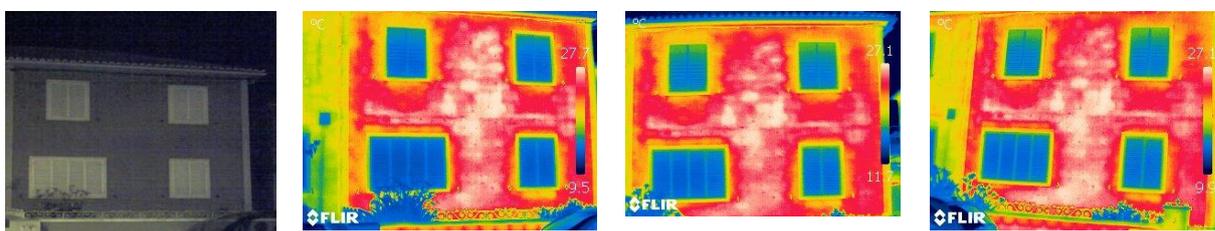


Figura 3.20- Esquema representativo da reentrância da janela: a) vista interior; b) vista exterior.





f)

Figura 3.21- Termogramas ao Edifício E em diferentes dias: a) 22 de Maio; b) 26 Maio; c) 27 de Maio; d) 30 de Maio; e) 31 d Maio; f) 1 de Junho

3.4.5 Edifício F

O edifício construído em 1955 pertence a uma habitação unifamiliar, estando esta habitada de forma continuada, e situada no Bairro Norton de Matos. O revestimento é de ladrilho cerâmico vidrado com cor castanha, sendo que a fachada analisada foi a Oeste (W), Figura 3.22. Este edifício apresenta-se em bom estado de conservação, não se verificando qualquer indício de descolamento, queda ou substituição de ladrilhos. Neste tipo de revestimento raramente é possível identificar elementos como alvenarias, pilares e vigas, sendo que o elemento mais visível foi a caixa de estore.

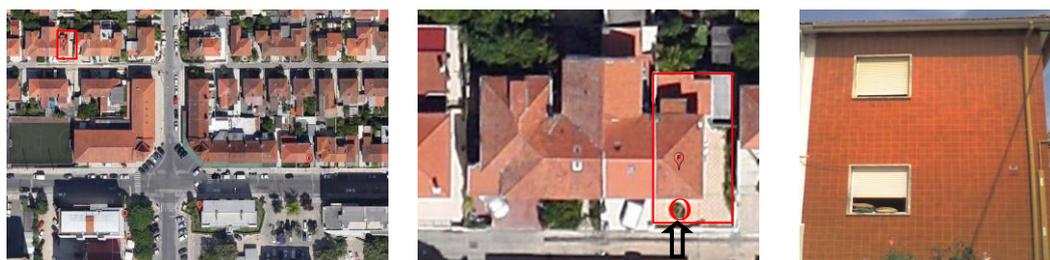


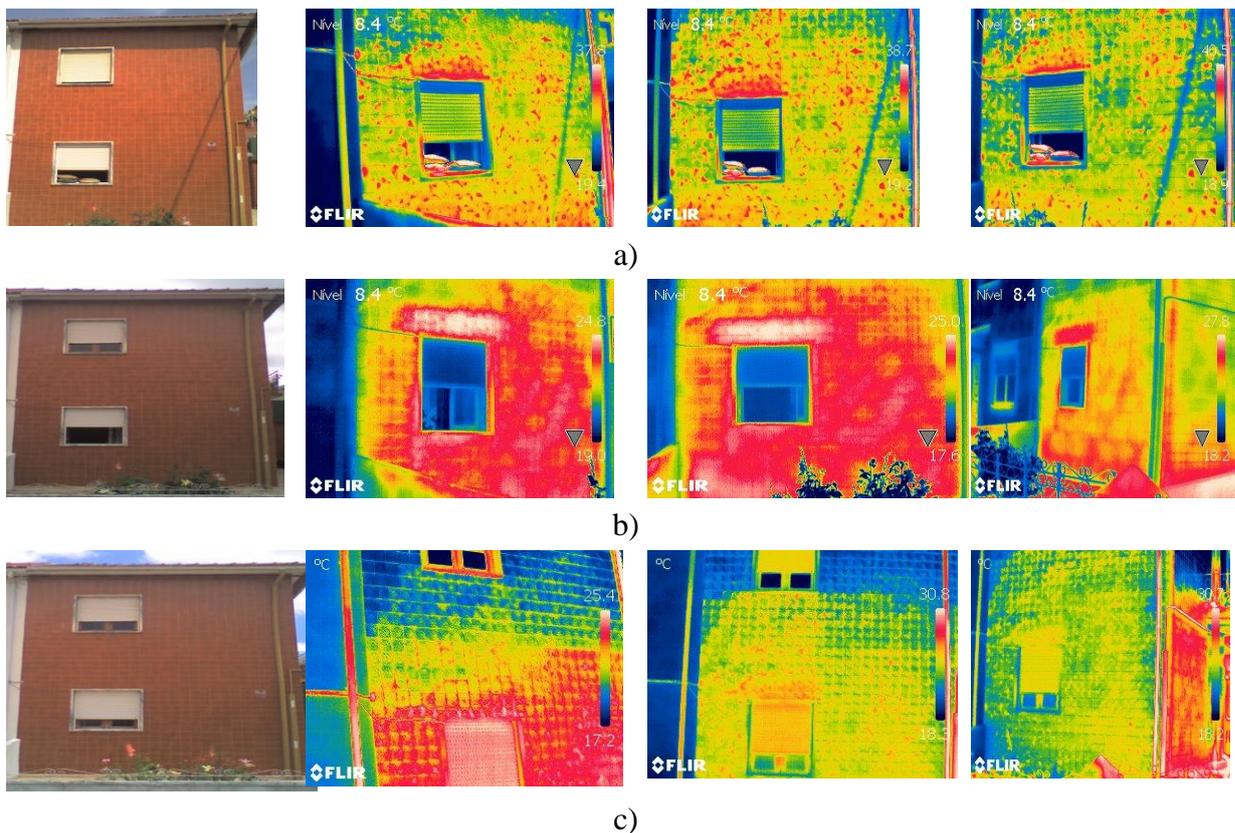
Figura 3.22- Localização e orientação da fachada do Edifício F.

O ladrilho vidrado, que reveste a fachada estudada, está sujeito a maiores reflexões quando comparado com os que não são. Isto foi notado em todos os dias da campanha termográfica.

Em dias com céu parcialmente nublado (26 e 30 de Maio) e com ação da radiação solar incidente na fachada, foi possível identificar a caixa de estore Figura 3.23-a e Figura 3.23-c,

mas não de forma tão nítida como no dia de céu completamente nublado (27 de Maio) sem ação da radiação solar, Figura 3.23-b. No dia de céu limpo (31 de Maio), logo após o pôr-do-sol, não foi possível identificar a caixa de estore, Figura 3.23-c. No entanto, na medição efetuada à noite (1 de Junho), como a caixa de estore apresentou uma temperatura inferior ao resto da fachada, já se identificou Figura 3.23-e. O Quadro 3.7 apresenta uma síntese da identificação da caixa de estore nos diferentes dias de observação.

No que respeita à alvenaria, como acontece no Edifício E, o dia com céu completamente nublado (27 de Maio) é mais propício à sua deteção neste tipo de revestimento (Figura 3.23-b).



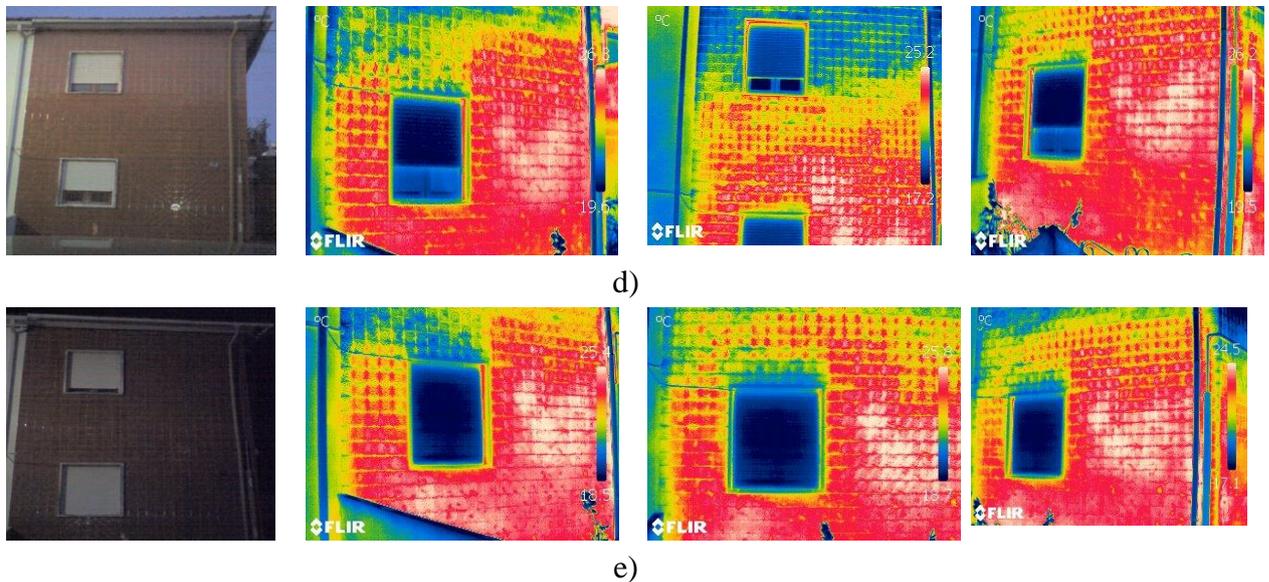


Figura 3.23- Identificação da caixa de estore da janela do piso inferior: a) 26 de Maio; b) 27 de Maio; c) 30 de Maio; d) 31 de Maio; e) 1 de Junho.

Quadro 3.7- Quadro síntese da identificação da caixa de estores no Edifício F.

Estado do céu	Parcialmente nublado	Completamente nublado	Parcialmente nublado	Limpo	Limpo
Elementos/Dia - Hora	26/Maio-15h40	27/Maio-18h00	30/Maio-13h50	31/Maio-21h20	1/Junho-22h40
Caixa de estore	◆	◆	◆		◆

Na janela do piso superior não foi possível observar a caixa de estore, Figura 3.24, muito provavelmente por esta se encontrar protegida pelos beirais da cobertura, impedindo assim a incidência direta da radiação solar. Na Figura 3.23-a, na fotografia digital é possível ver a sombra produzida pelo beiral.

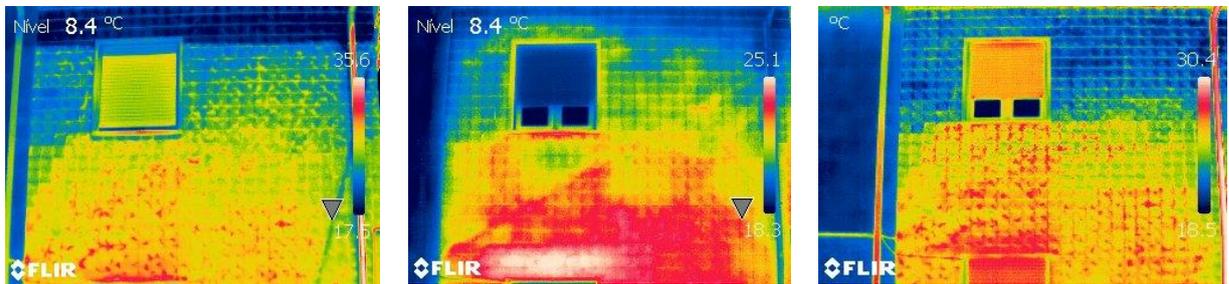


Figura 3.24- Ausência da identificação da caixa de estore na janela do piso superior.

3.4.6 Edifício G

Este edifício situa-se no Vale das Flores e foi construído no ano de 2000, caracteriza-se por ser uma habitação multifamiliar e habitada de forma contínua. A única fachada a ser analisada foi a Oeste (W), é revestida por ladrilho cerâmico cor-de-rosa, Figura 3.25. Durante a obtenção de imagens foi possível observar todos os elementos estruturais do edifício e não foram encontradas quaisquer heterogeneidades. Notou-se um contraste de cores nesta fachada que se repetiu ao longo dos dias e variava com o ângulo de observação. Conclui-se que eram apenas reflexões, devido à forma do contraste corresponder com a forma do edifício em frente, Figura 3.26.



Figura 3.25- Localização e orientação do Edifício G.

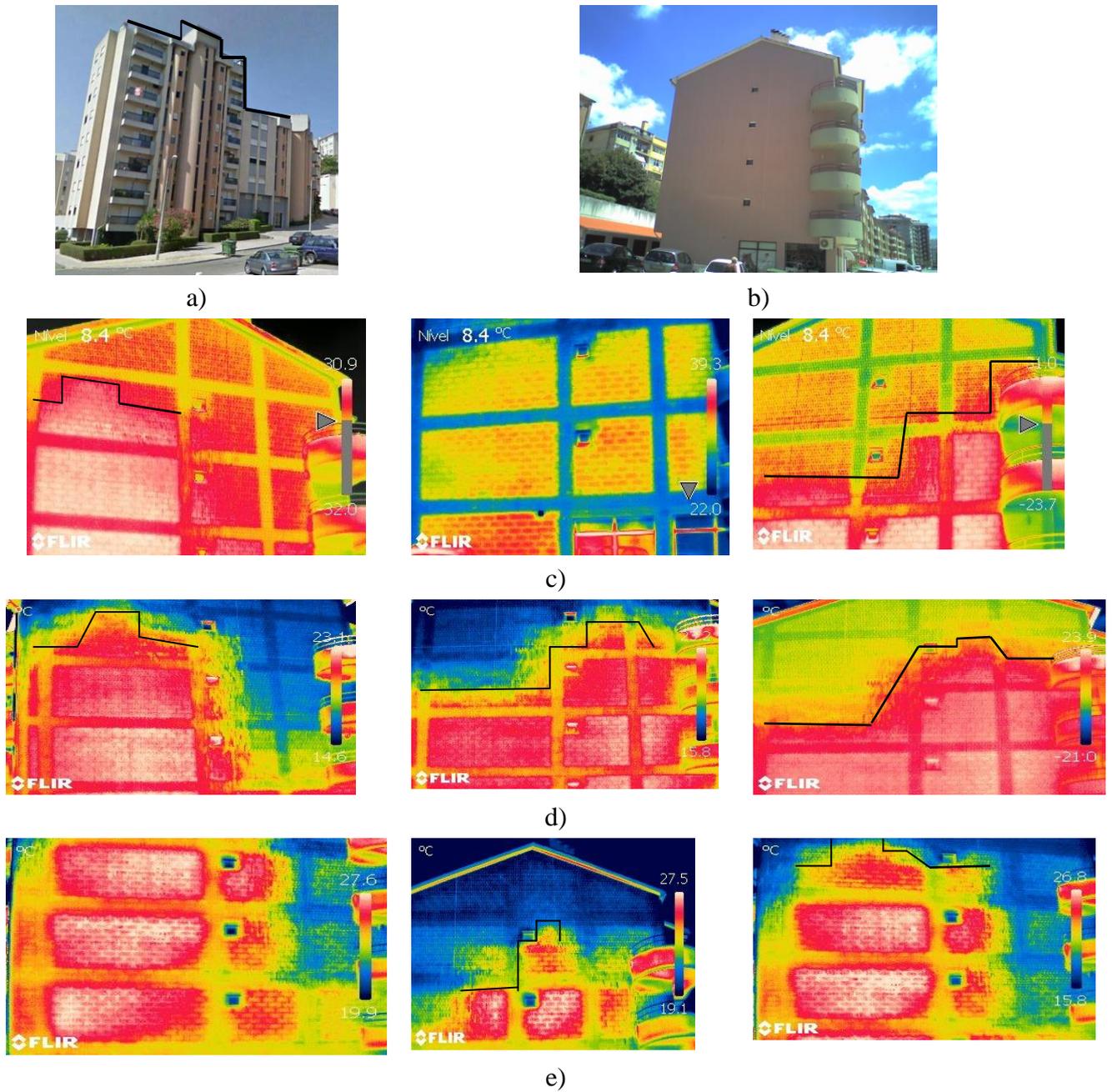


Figura 3.26- Reflexões no edifício analisado ao longo dos dias: a) Edifício em frente; b) Fachada analisada; c) 26 de Maio; d) 30 de Maio; e) 31 de Maio.

Como pode ser visto na Figura 3.26, a sombra que aparece na fachada analisada corresponde à configuração no edifício situado na frente deste edifício.

Foi possível observar a alvenaria, pilares e vigas em todas as medições, Figura 3.26, durante o dia na fase de aquecimento e à noite, o que se mostra que este tipo de ladrilho não é tão refletivo em comparação com os Edifícios E e F.

3.4.7 Edifício H

O Edifício H foi construído em 2000 e diz respeito a uma habitação multifamiliar com utilização contínua. A fachada analisada está orientada para Sul (S) e é revestida com argamassa pintada a cinzento da parte das janelas e bege no resto, Figura 3.27. Neste edifício, o fator de estudo foi a influência da cor na fachada e como esta se apresenta nos termogramas.



Figura 3.27- Localização e orientação da fachada do Edifício H.

A análise dos termogramas permitiu visualizar a influência da cor nos edifícios. Nos termogramas obtidos durante o dia, Figura 3.28-a, verifica-se o efeito da cor nas vigas, como se nelas existisse um “corte”, motivado pelo facto de a cor da parte envolvente das janelas ser mais escura. Na verdade, as cores escuras têm uma maior capacidade de absorção de calor que aparece repercutido nos termogramas com uma temperatura superior. Pelo contrário, o bege, como todas as cores mais claras, reflete o calor, traduzindo-se no termograma em temperatura inferior.

Os termogramas recolhidos durante a noite, Figura 3.28-b, manifestam o “corte” nas vigas menos evidenciado, devido à cor não se mostrar tão evidente sem a presença da radiação solar.

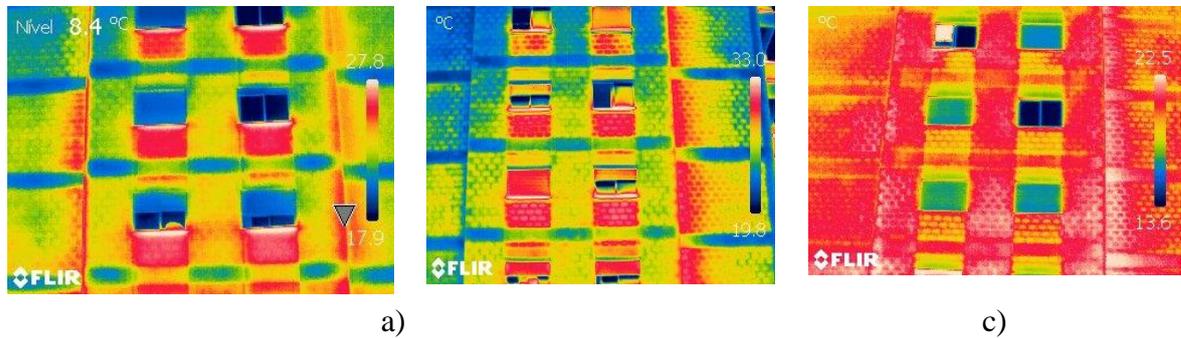


Figura 3.28- Termogramas obtidos da fachada do edifício: a) Dia; b) Noite.

3.4.8 Edifício I

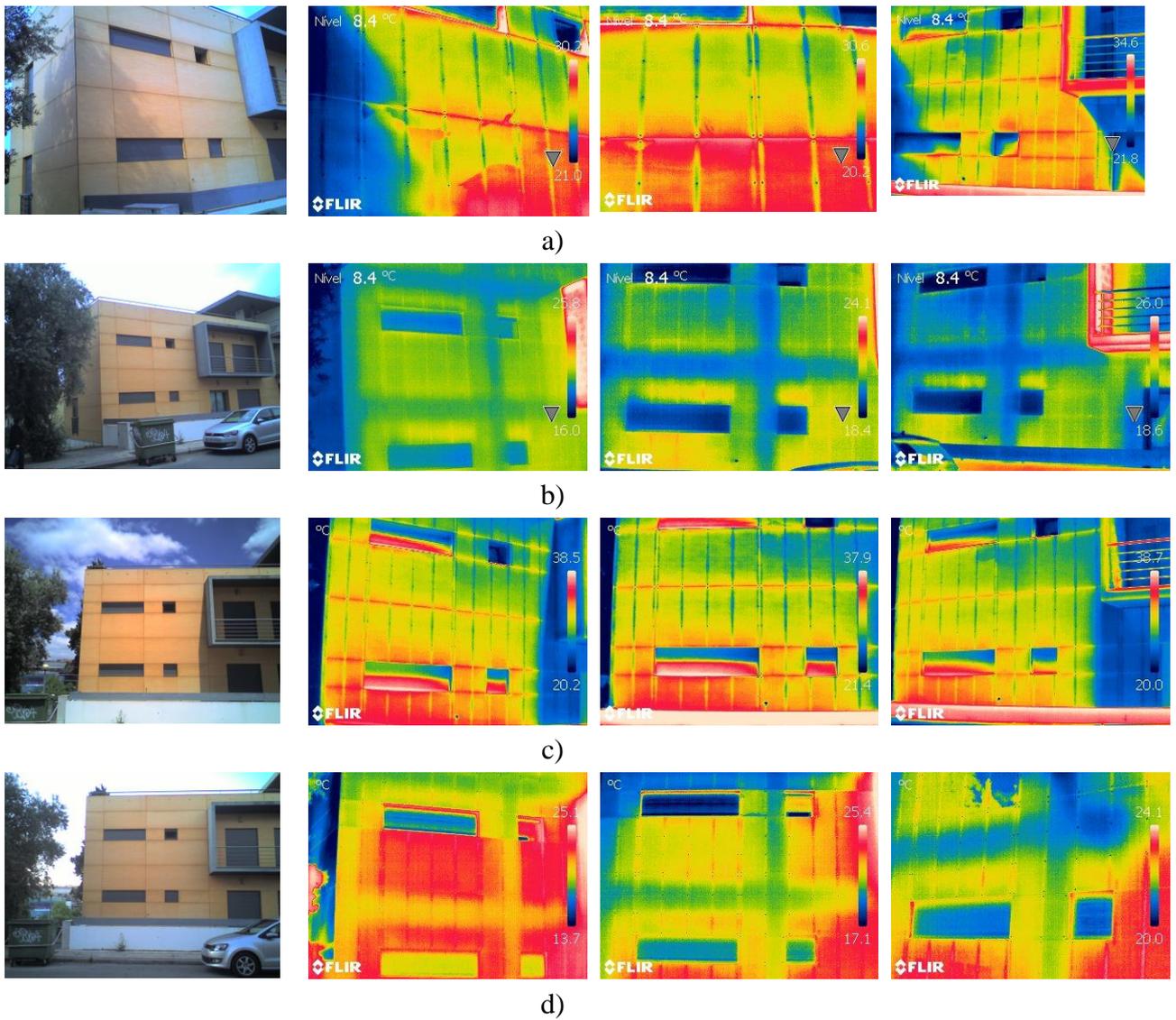
O edifício representado na Figura 3.29 foi construído em 2006 e localiza-se no Bairro Norton de Matos. Caracteriza-se como uma habitação multifamiliar com uso contínuo e é revestido por um contraplacado de madeira, em que a fachada analisada foi a Sul (S). Este não apresenta nenhuma patologia digna de realce, é apenas visível um ligeiro desgaste na cor do contraplacado, motivado, certamente, pela sua exposição às condições climáticas. No entanto, este desvanecimento não aparece registado nos termogramas.

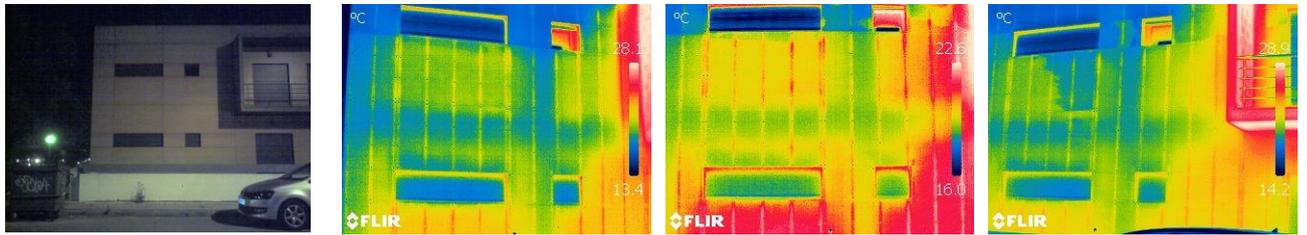


Figura 3.29- Localização do Edifício I e da fachada analisada.

Em dias sem a ação da radiação solar a incidir na fachada, foi possível observar as vigas e os pilares constituintes do edifício. O mesmo se passou, praticamente, em relação às fixações das placas de contraplacado, apenas no dia que contou com alguma precipitação, não tornou possível a sua identificação de forma tão nítida.

Pode ser observado na Figura 3.30, a variação dos elementos visualizados, tais como pilares, vigas e fixações das placas conforme as condições climáticas dos diversos dias de observação.





e)

Figura 3.30- Identificação dos elementos estruturais do edifício em dias com céu: a) Parcialmente nublado; b) Completamente nublado com chuva; c) Céu parcialmente nublado; d) Limpo (fim da tarde); e) Limpo (noite).

Foram observadas reflexões nítidas das casas, árvores e postes de iluminação que se encontravam em frente ou junto a este edifício, Figura 3.31.

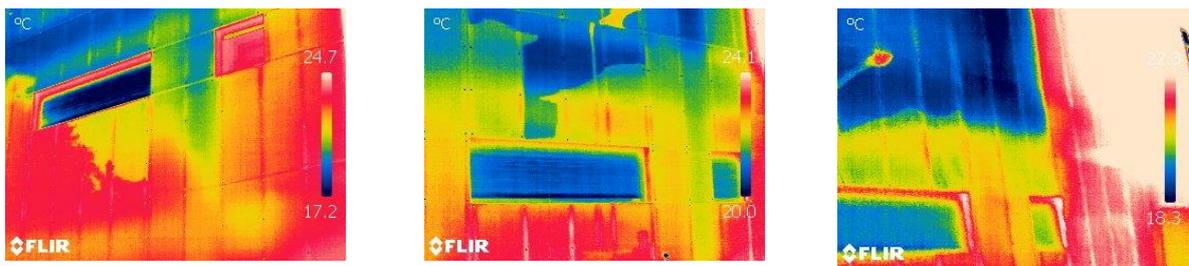


Figura 3.31- Exemplos de reflexões observadas.

Existe uma varanda de alvenaria e argamassa pintada com cor escura na mesma fachada (Figura 3.32), apesar de não ter feito parte da zona analisada, notou-se que esta apresentou sempre temperaturas superiores em relação ao contraplacado, este facto deve-se à sua capacidade térmica ser superior à do contraplacado e ter maior capacidade de absorção.



Figura 3.32- Variação de temperaturas entre o material de contraplacado e o da varanda.

3.5 Considerações finais

Após a análise individual dos edifícios é possível sintetizar o que deve ser tido em conta aquando uma análise *in situ* de um edifício com recurso à termografia.

Edifícios que tenham revestimento com isolamento pelo exterior apresentam maior susceptibilidade, à radiação solar, vento e chuva, ou seja, estes fazem com que o revestimento reaja de forma rápida ao seu aquecimento (radiação solar) ou arrefecimento (vento e chuva). Este facto deve-se por este revestimento ser mais leve e mais isolante em relação às restantes soluções. Assim as medições a realizar em edifícios com este tipo de revestimento devem ser realizadas evitando-se as influências daqueles fatores.

Numa medição termográfica é preciso ter em conta as cores presentes num edifício, sendo que as escorrências e a colonização biológica afetam a cor que o edifício apresenta. A influência que a cor tem num edifício é captada pela termografia durante os períodos e quando existe radiação solar. A cor reage à fonte de calor proveniente da luz solar: absorvendo, no caso de cores escuras; e refletindo com cores claras, sendo que à noite esta não é tão visível.

Para identificar empolamentos e delimitações de telas que revestem edifícios, devem ser evitados os dias com céu completamente nublado. As medições a edifícios com este revestimento podem ser efetuadas durante o dia com ou sem radiação solar a incidir na fachada ou à noite.

Para a identificação de caixa de estores é aconselhado medições com o céu completamente nublado. Em dias de céu parcialmente nublado com a ação direta da radiação solar, também foi possível a sua visualização, mas não de forma tão nítida. Durante o pôr-do-sol ou logo após este, estas não são possíveis de identificar, só passado algumas horas.

Para a identificação de alvenaria é aconselhado que as medições sejam efetuadas durante a fase de aquecimento e sob a ação da radiação solar, exceto em casos que exista revestimento de ladrilhos cerâmicos com grande refletividade, sendo recomendado nestes casos que a medição seja efetuada em dias de céu completamente nublado.

Para a identificação de fissuras também é aconselhado que as medições sejam efetuadas sob a ação de radiação solar e durante a fase de aquecimento.

Nos revestimentos de argamassa, os pilares e vigas, ao contrário da alvenaria, não necessitam da ação da radiação solar para serem visíveis, estes tanto são visíveis durante o dia, como à noite, com ou sem radiação solar. Por outro lado, em revestimentos com grandes reflexões, como o contraplacado de madeira, estes elementos são apenas visíveis sem ação da radiação solar.

Em revestimentos com ladrilhos cerâmicos de grande refletividade não foi possível visualizar os elementos constituintes dos edifícios, tais como pilares e vigas. Contudo a alvenaria foi possível de identificar, não de forma nítida, em dias de céu completamente nublado. A caixa de estore também é visível nestes tipos de revestimentos.

A influência de edifícios vizinhos e a presença de objetos, tais como árvores, arbustos, carros, postes de iluminação e outros, deve ser tida em conta. A sua presença, além de provocar reflexões e sombras, impede também a visualização dos elementos da fachada do edifício. O ideal para a obtenção de condições ótimas de medição seria que os edifícios se encontrassem isolados, isto é, sem a proximidade de outros edifícios ou objetos, ou pelo menos, que estes estivessem a uma distância considerável. Sendo que na obtenção de termogramas, a captação de imagens deve, pelo menos, tentar a não captação destes fatores.

O vento apenas se mostrou influente para revestimentos com isolamento exterior, pelo que ventos na ordem dos 4,8 m/s já se mostram influentes neste tipo de revestimento. Nos restantes revestimentos analisados, apesar de existir vento, este não mostrou ter influência.

As medições com chuva devem ser evitadas, visto esta influenciar a identificação dos elementos da fachada. Provoca também uma diminuição da temperatura dos elementos analisados.

4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusão

A termografia devido à sua característica não invasiva e o facto de poder ser utilizada em tempo real e a longas distâncias do objeto mostra-se muito vantajosa a sua utilização em edifícios. Esta mostra-se não só económica a nível monetário, por evitar a mobilização de material e operários em inspeções de difícil acesso por exemplo, como também a nível de tempo. Permite sobretudo potenciar o desenvolvimento de soluções inovadoras mais fiáveis, como por exemplo revestimento mais duradouros e com maior capacidade de isoladora, ou a de identificar e prever problemas que de outra forma seriam difíceis.

Há no entanto que ser em conta que esta técnica não está acessível a qualquer um. Para além do investimento, pouco acessível, eu é necessário realizar, nomeadamente na aquisição do material, há que ter em conta as capacidades e competências de quem irá trabalhar nesta área. As medições efetuadas com esta técnica dependem de uma série de parâmetros, como a emissividade, distância ao objeto, ângulo de observação, refletividade e cor que podem influenciar os resultados obtidos. Em ambientes abertos, como é o caso de uma fachada de um edifício, além dos parâmetros referidos, existem também influencias ambientais (radiação solar, vento, elementos do meio circundante) que podem ter influência e é necessário dar especial atenção a todos estes de forma a serem detetados e eliminados.

Além do aprofundamento teórico e funcional que o conceito de termografia exige, o desenvolvimento deste trabalho foi sobretudo importante pela dimensão prática, de recolha, interpretação e justificação de dados termográficos recolhidos em diferentes edifícios, onde estes estão dependentes dos locais e condições presentes.

Como neste estudo houve oportunidade de efetuar análises nas mais diversas condições, pode-se concluir que apesar das limitações é possível obter conclusões, a nível de: identificação de elementos constituintes de um edifício; comportamento de diferentes revestimentos;

identificação de soluções arquitetónicas do interior; comportamento de heterogeneidades presentes nos edifícios, como fissuras, empolamentos.

4.2 Trabalhos futuros

Existem mais medições termográficas que se podem efetuar como trabalhos futuros, nomeadamente a medição dos mesmos edifícios no Inverno. Nesta estação estão presentes condições diferentes e tem presente outros fatores, como é o caso do nevoeiro, gelo, ventos mais fortes. Deste modo, verificar como os resultados se alteram perante estas condições.

Outra aplicação pode ser realizada em outro local, que não a cidade, como é o caso do campo, ou zona litoral. Onde cada local apresenta diferentes tipos de construção e revestimento. Numa outra perspetiva, abordar as heterogeneidades que os edifícios apresentam. E como a termografia identifica cada um deles.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso, J., 2010. Termografia: Teoria, Procedimentos e Vantagens ITEaG, ed. *ITEaG*. Available at: <http://www.iteag.net/termografia.pdf> [Accessed April 5, 2014].
- Aldeias, A.I., 2003. Termografia Infravermelha. *IST*. Available at: <http://in3.dem.ist.utl.pt/laboratories/03slides/apres8.pdf> [Accessed April 2, 2014].
- Asdrubali, F., Baldinelli, G. & Bianchi, F., 2012. A quantitative methodology to evaluate thermal bridges in buildings. *Applied Energy*, 97, pp.365–373.
- Balaras, C. a. & Argiriou, A. a., 2002. Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and Buildings*, 34(2), pp.171–183.
- Barreira, E., 2004. *Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Bisegna, F. et al., 2014. A qualitative method for combining thermal imprints to emerging weak points of ancient wall structures by passive infrared thermography – A case study. *Journal of Cultural Heritage*, 15(2), pp.199–202.
- Carlomagno, G.M. & Cardone, G., 2010. Infrared thermography for convective heat transfer measurements. *Experiments in Fluids*, 49(6), pp.1187–1218.
- Cerdeira, F. et al., 2011. Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. *Energy and Buildings*, 43(8), pp.1845–1851.
- Clark, M., McCann, D. & Forde, M., 2003. Application of infrared thermography to the non-destructive testing of concrete and masonry bridges. *NDT & E International*, 36(4), pp.265–275.
- Edis, E., Flores-Colen, I. & de Brito, J., 2014. Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding. *Construction and Building Materials*, 51, pp.187–197.
- Feijó, E. de S., 2013. *Estudo comparativo de painéis revestidos com argamassa através de imagens no infravermelho termal*. Tese de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Porto Alegre, Porto Alegre.

- FLIR system, 2011. Manual do utilizador. In p. 114.
- Fokaides, P.A. & Kalogirou, S.A., 2011. Application of infrared thermography for the determination of the overall heat transfer coefficient (U -Value) in building envelopes. *Applied Energy*, 88, pp.4358–4365.
- Gaussorgues, G., 1999. *La thermographie infrarouge- Principes, Technologies, Application* 4^a ed., Paris: Technique et Documentation Lavoisier.
- Grinzato, E., Vavilov, V. & Kauppinen, T., 1998. Quantitative infrared thermography in buildings. *Energy and Buildings*, 29(1), pp.1–9.
- Gruner, K.-D., 2003. Principles of Non-Contact Temperature Measurement. In Raytec, ed. p. 32.
- Hoyano, A., Asano, K. & Kanamaru, T., 1999. Analysis of the sensible heat flux from the exterior surface of buildings using time sequential thermography. *Atmospheric Environment*, 33, pp.3941–3951.
- Ibarra-Castanedo, C. et al., 2007. Active Infrared Thermography Techniques for the Non-destructive Testing of Materials. In *Ultrasonic and Advanced Methods for Nondestructive Testing and Material Characterization*. Chen CH, pp. 325–348.
- ISO 6781: 1983 -Thermal insulation -Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes - Infrared method. Available at:
http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=13277 [Accessed July 22, 2014].
- Kauppinen, T., 2006. The use of thermography in energy performance of buildings-directive (EPBD)-applications. In Douglas D. Burleigh; Ralph B. Dinwiddie, ed. SPIE Proceedings Vol. 7299; Thermosense XXXI, p. 11. Available at:
<http://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.819275>.
- Lagüela, S., Armesto, J. & Arias, P., 2012. Quantitative InfraRed Thermography Thermographic 3D models as the foundation for Building Information Models. In *11 International Conference on Quantitative InfraRed Thermographu*. Naples, Italy.
- Laranjeira, J., Simões, N., Simões, I., Tadeu, A. and Serra, C., “Passive thermography evaluation of bonding defects in adhered ceramic tiling: experimental and in-situ assessments”, QIRT 2014 - 12th International Conference on Quantitative Infrared Thermography, 07 - 11 July, Bordeaux, France.
- Lehmann, B. et al., 2013. Effects of individual climatic parameters on the infrared thermography of buildings. *Applied Energy*, 110, pp.29–43.
-

- Maldague, X., 2002. Introduction to NDT by active infrared thermography. In *Materials Evaluation*. pp. 1060–1073.
- Mendioroz, A. et al., 2014. Characterization and spatial resolution of cracks using lock-in vibrothermography. *NDT & E International*, 66, pp.8–15.
- Meola, C., 2012. *Infrared thermography recent advances and future trends*, Italy: Bentham Science Publishers.
- NASA, 2014. NASA's Goddard Space Flight Center. Imagine the Universe- Advanced Science. Available at: http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know_11/emspectrum.html [Accessed April 1, 2013].
- Paoletti, D. et al., 2013. Preventive thermographic diagnosis of historical buildings for consolidation. *Journal of Cultural Heritage*, 14(2), pp.116–121.
- Quinteiro, A.R.F., 2009. *Utilização da termografia na caracterização de soluções construtivas*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Serra, C., Tadeu, A., Simões, N., Simões, I., “Simulation of heat diffusion in multi-layered construction systems for active IRT data analysis”, QIRT 2014 - 12th International Conference on Quantitative Infrared Thermography, 07 - 11 July, Bordeaux, France.
- Simões, I., Simões, N., Tadeu, A., Riachos, J., “Laboratory assessment of thermal transmittance of homogeneous building elements using infrared thermography”, QIRT 2014 - 12th International Conference on Quantitative Infrared Thermography, 07 - 11 July, Bordeaux, France.
- Simões, N., Laranjeira, J., Simões, I., Tadeu, A. and Serra, C., “Active thermography evaluation of bonding defects in adhered ceramic tiling: thermal stimulation conditions and data analysis methods assessment”, QIRT 2014 - 12th International Conference on Quantitative Infrared Thermography, 07 - 11 July, Bordeaux, France.
- Sousa, L.F.R. de, 2010. *Aplicação da Termografia no Estudo de Isolamento Térmico de Edifícios*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Taylor, T., Counsell, J. & Gill, S., 2013. Energy efficiency is more than skin deep: Improving construction quality control in new-build housing using thermography. *Energy and Buildings*, 66, pp.222–231.
-

ANEXO A- Condições meteorológicas dos dias de medição

1. Edifício A

Quadro A.1- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício A.

Dia	Hora	Céu	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)	Vento (m/s)	Fachada sob ação radiação solar
21/Maio	9h30	Completamente nublado	11,85	84,37	4,39	-/-/-
26/Maio	17h00	Parcialmente nublado	17,01	57,5	4,8	S/-/-
30/Maio	12h30	Parcialmente nublado	20,49	67,84	2,26	S/E/-
31/Maio	22h00	Limpo	16,68	77,33	0,59	-/-/-

2. Edifício B

Quadro A.2- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício B.

Dia	Hora	Céu	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)	Vento (m/s)	Fachada sob ação radiação solar
22/Maio	11h35	Parcialmente nublado	16,14	78,35	2,38	-
26/Maio	15h30	Parcialmente nublado	18,97	51,02	3,77	W
27/Maio	17h55	Completamente nublado	16,25	82,58	1,61	-
30/Maio	14h15	Parcialmente nublado	21,41	68,18	3,04	-
31/Maio	21h00	Limpo	17,99	70,59	2,03	-
1/Junho	23h00	Limpo	16,12	70,32	0,36	-

3. Edifício C

Quadro A.3- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício C.

Dia	Hora	Céu	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)	Vento (m/s)	Fachada sob ação radiação solar
22/Maio	11h42	Parcialmente nublado	16,14	78,35	2,38	E
26/Maio	15h32	Parcialmente nublado	18,97	51,02	3,77	-
27/Maio	17h50	Completamente nublado	16,25	82,58	1,61	-
30/Maio	14h11	Parcialmente nublado	21,41	68,18	3,04	-
31/Maio	20h55	Limpo	17,99	70,59	2,03	-
1/Junho	23h05	Limpo	16,12	70,32	0,36	-

4. Edifício D

Quadro A.4- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício D.

Dia	Hora	Céu	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)	Vento (m/s)	Fachada sob ação radiação solar
21/Maio	10h15	Completamente nublado c/ chuva	11,24	89,32	4,48	-/-
22/Maio	11h10	Parcialmente nublado	17,03	71,20	2,69	-/-
26/Maio	15h10	Parcialmente nublado	19,16	46,65	3,61	-/W
27/Maio	17h40	Completamente nublado	17,25	76,23	2,03	-/-
30/Maio	14h00	Parcialmente nublado	21,41	68,18	3,04	-/W
31/Maio	20h42	Limpo	18,74	67,66	3,21	-/-
1/Junho	23h00	Limpo	16,12	70,32	0,36	-/-

5. Edifício E

Quadro A.5- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício E.

Dia	Hora	Céu	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)	Vento (m/s)	Fachada sob ação radiação solar
22/Maio	11h50	Completamente nublado	15,24	85,49	2,07	-
26/Maio	15h41	Parcialmente nublado	18,97	51,02	3,77	W
27/Maio	17h55	Completamente nublado	16,25	82,58	1,61	-
30/Maio	13h55	Parcialmente nublado	21,41	68,18	3,04	W
31/Maio	21h20	Limpo	17,34	73,96	1,31	-
1/Junho	22h40	Limpo	16,63	67,66	0,34	-

6. Edifício F

Quadro A.6- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício F.

Dia	Hora	Céu	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)	Vento (m/s)	Fachada sob ação radiação solar
26/Maio	15h40	Parcialmente nublado	18,97	51,02	3,77	W
27/Maio	18h00	Completamente nublado	16,25	82,58	1,61	-
30/Maio	13h50	Parcialmente nublado	21,41	68,18	3,04	W
31/Maio	21h20	Limpo	17,34	73,96	1,31	-
1/Junho	22h40	Limpo	16,63	67,66	0,34	-

7. Edifício G

Quadro A.7- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício G.

Dia	Hora	Céu	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)	Vento (m/s)	Fachada sob ação radiação solar
26/Maio	16h00	Parcialmente nublado	18,78	52,38	3,92	W
30/Maio	12h55	Parcialmente nublado	21,41	68,18	3,04	W
31/Maio	21h45	Limpo	16,68	77,33	0,59	-

8. Edifício H

Quadro A.8- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício H.

Dia	Hora	Céu	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)	Vento (m/s)	Fachada sob ação radiação solar
26/Maio	16h20	Parcialmente nublado	17,90	54,94	4,36	-
30/Maio	13h00	Parcialmente nublado	20,95	65,98	2,25	S
31/Maio	21h45	Limpo	16,68	77,33	0,59	-

9. Edifício I

Quadro A.9- Quadro síntese dos dados das medições ao Edifício I.

Dia	Hora	Céu	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)	Vento (m/s)	Fachada sob ação radiação solar
26/Maio	9h30	Parcialmente nublado	17,90	54,94	4,36	S
27/Maio	18h15	Completamente nublado com chuva	16,25	82,58	1,61	-
30/Maio	13h30	Parcialmente nublado	20,49	67,84	2,26	S
31/Maio	20h30	Limpo	18,74	67,66	3,21	-
1/Junho	22h30	Limpo	16,63	67,66	0,34	-