



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

Deteção de patologias não estruturais em edifícios

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

Autor

Vítor Miguel Gomes Calado

Orientadores

Prof^a Doutora Andreia Pereira

Prof^o Doutor Diogo Mateus

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

Coimbra, julho, 2016

AGRADECIMENTOS

A elaboração da presente dissertação não seria possível sem a colaboração de diversas pessoas, posto isto, gostaria de demonstrar todo o meu agradecimento e apreço aqueles que, direta ou indiretamente possibilitaram a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar aos meus pais e à minha irmã, que durante todo o percurso académico estiveram sempre ao meu lado demonstrando grande incentivo, compreensão, carinho e motivação nos momentos mais difíceis.

Aos meus orientadores, Professora Doutora Andreia Pereira e Professor Doutor Diogo Mateus, pela disponibilidade sempre demonstrada e pela partilha de conhecimentos e sugestões.

Finalmente e não menos importante, aos meus amigos que apoiaram e motivaram em alturas precisas, facilitando sempre uma grande entajada de forma a conseguir a realização tanto do percurso académico em geral, como desta dissertação.

Um verdadeiro, muito obrigado a todos!

RESUMO

Na atualidade, consegue-se detetar e caracterizar rapidamente defeitos em materiais e em elementos na construção, através de técnicas não destrutivas, essenciais para uma correta avaliação, antes da correção de patologias.

Muitos edifícios apresentam patologias não estruturais, que podem ter várias origens como presença de água, fissurações, envelhecimento, degradação dos materiais e uma inadequação dos elementos de construção às suas funções, essas são consideradas as principais ameaças para a ocorrência de patologias.

A termografia apresenta-se como uma técnica não-destrutiva na deteção de patologias, baseando-se na emissão de energia, sob a forma de calor, na zona de radiação infravermelha do espectro eletromagnético. Os detetores de raios infravermelhos, detetam a radiação e convertem-na num sinal elétrico mostrando o resultado como imagem térmica ou termograma com a distribuição das temperaturas superficiais do corpo incidente, correspondendo a uma variação de cores num intervalo de temperatura.

Neste trabalho foram analisadas várias patologias, essencialmente através da técnica não destrutiva de termografia, avaliando diversos parâmetros relevantes na obtenção de termogramas, bem como, para a fase seguinte, o estudo de técnicas de reabilitação para minimização/correção das patologias encontradas.

PALAVRAS-CHAVE

Edifícios, Métodos não destrutivos, Patologias, termografia, Reabilitação

ABSTRACT

Nowadays, it is easier to detect and characterize defects in materials and elements in construction, due to non-destructive techniques, essential for the correction of pathologies.

The buildings are subject to non-structural pathologies, these may come from various sources such as the presence of water, cracking, aging, degradation of materials and inadequate function of the building elements, these are considered the major threats to occurrence of pathologies

Thermography is presented as a non-destructive technique for the detection of pathologies, based on the energy emission, in the form of heat in the infrared region of the electromagnetic spectrum. The infrared detectors, detect the radiation and convert it into an electrical signal showing the result as a thermal image, or thermogram with the distribution of surface temperatures of the incident corps, corresponding to a color variation in a temperature range.

This study analyzed various pathologies, mainly focused on non-destructive technique of, thermography, evaluating various relevant parameters in obtaining thermograms as well as, to the next step, the study of rehabilitation techniques for the minimization/correction of pathologies founded.

Key words

Buildings, nondestructive methods, Pathologies, thermography, Rehabilitation

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE QUADROS	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações iniciais.....	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Organização da dissertação.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Considerações gerais.....	4
2.2. Caracterização do comportamento térmico de edifícios.....	4
2.2.1 Trocas de calor em edifícios	4
2.2.2 Pontes térmicas	6
2.2.3 Conforto térmico	7
2.3. Tipos de patologias não estruturais.....	8
2.3.1. Patologias referentes a manifestações de humidade.....	8
2.3.1.1. Humidade na construção	8
2.3.1.2. Humidade de precipitação	10
2.3.1.3. Humidade de Condensação	11
2.3.1.4. Higrscopicidade dos materiais	14
2.3.1.5. Causas fortuitas	15
2.3.1.6. Humidade ascensional.....	15
2.3.2. Patologias e consequências do deficiente isolamento térmico	17
2.3.2.1. Infiltrações de ar	17
2.3.2.2. Deficiências de isolamento	20
3. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA APLICADA EM EDIFÍCIOS.....	21
3.1. Nota introdutória.....	21
3.2. Radiação infravermelha	21
3.3. Equipamento de medição – Câmaras termográficas	22

3.3.1. Considerações gerais	22
3.3.2. FLIR E40bx	23
3.4. Técnicas de medição termográfica	24
3.4.1. A emissividade do objeto	24
3.4.3. Distância	27
3.4.4. Humidade relativa	27
3.4.5. Temperatura aparente refletida.....	27
3.5. Instruções sobre estudos no terreno	27
3.5.1. Normas gerais	28
3.5.2. Fontes de interferência nos resultados da termografia infravermelha.....	28
3.6. Vantagens da termografia infravermelha.....	28
3.7. Termografia passiva e termografia ativa	29
3.8. Normalização	30
4. APLICAÇÕES PRÁTICAS DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA EM EDIFÍCIOS	31
4.1. Desempenho térmico geral da envolvente	31
4.2. Identificação de componentes da solução construtiva.....	32
4.3. Identificação de patologias	34
4.4. Considerações finais	37
5. ESTUDO EXPERIMENTAL REALIZADO.....	38
5.1. Nota introdutória.....	38
5.2. Objeto de estudo	39
5.3. Soluções construtivas.....	40
5.4. Resultados.....	43
5.4.1. Interior do edifício.....	44
5.4.1.1. Medições e observações efetuadas no Quarto 1	44
5.4.1.2. Medições e observações efetuadas no Quarto 2	45
5.4.1.3. Medições e observações efetuadas no Quarto 3	47
5.4.1.4. Medições e observações efetuadas na sala de arrumações	48
5.4.2. Exterior do edifício.....	48
5.4.2.1. Medições e observações efetuadas no pátio interior descoberto	48
5.4.2.2. Medições e observações efetuadas na fachada orientada a sul.....	51
5.4.2.3. Medições e observações efetuadas na fachada orientada a Oeste	51
5.4.2.4. Medições e observações efetuadas na fachada orientada a Este	52
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	54
6.1. Conclusões	54

6.2. Desenvolvimentos futuros	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	A

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Mecanismos de transmissão de calor (Marques, D. F. 2014).	5
Figura 2.2 – Pontes térmicas em edifícios: a) Ponte térmica Plana b) Ponte térmica linear (ITeCons 2014).	7
Figura 2.3 – Humidade na Construção a) excessiva molhagem do tijolo, na fase de assentamento b) Excesso de agua nas argamassas c) Falta de proteção nos materiais no estaleiro (Silva, J. A. 2010)	9
Figura 2.4- Algumas causas de anomalias em paredes duplas (Silva, J. A. 2010).	11
Figura 2.5 – Diagrama psicométrico (Guimarães, A. S. 2013)	13
Figura 2.6 – Condensações a) Condensação típica em padieira de janela b) Condensação em zonas de ponte térmica c) Pormenor de fungos e bolores instalados em paramento (Silva, J. A. 2010).	13
Figura 2.7 – Causas fortuitas a) Infiltração devido a rotura de canalizações b) Infiltração localizada e fortuita c) Infiltração pontual e fortuita (Silva, J. A. 2010).	15
Figura 2.8 – a) Escorrência de agua sobre a parede b) Parede construída abaixo do nível freático c) Ascensão capilar através do terreno (Silva, J. A. 2010).	16
Figura 2.9 – Humidade ascensional: a) em edifício histórico, agravada pela presença de degrau com inclinação para o lado da parede b) Parede sujeita ao fenómeno, agravado pela impermeabilização parcial da face interior c) em edificio de construção recente, proveniente de aguas exteriores infiltradas através do incorreto desempenho da soleira (Silva, J. A. 2010)... ..	17
Figura 2.10 – a) Infiltração de ar no soalho sobre espaço de serviço de betão devido a fendas na fachada de alvenaria b) Deficiências de isolamento no beiral de uma habitação c) Piso intermedio com as placas de isolamento colocadas incorretamente (FLIR 2010).	18
Figura 2.11- Legenda do ensaio com porta ventiladora (blower door test) (Gonçalves, M. 2015).	19
Figura 2.12 – a) Incorreta colocação de isolamento sobre a viga do pavimento b) Incorreta colocação do isolamento, originando uma bolsa de ar no lado exterior do teto inclinado c) Colocação incorreta de placas de isolamento na presença de uma rede de alimentação elétrica (FLIR 2010).	20
Figura 3.1 – Espectro eletromagnético (Barreira, E. S. 2004).	22
Figura 3.2- Representação esquemática de uma situação geral de medição (FLIR, 2011).	23
Figura 3.3 – Câmara termográfica E40bx (FLIR 2010).	24
Figura 3.4- 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).....	26

Figura 3.5- Variação da emissividade com o ângulo de observação (adaptado de Meola, 2012).....	26
Figura 3.6- 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)	27
Figura 4.1 – Edifício com isolamento correto (esquerda) e edifício com pontes térmicas (direita) (Mendonça, L. V. 2008).	31
Figura 4.2- Termografia na deteção de falhas de isolamento em fachadas (FLIR 2010).....	32
Figura 4.3- Termografia na deteção de falhas de isolamento em fachadas (FLIR 2010).....	32
Figura 4.4 –a) Imagem digital com pilar oculto b) Imagem termográfica que identifica o pilar (Mendonça, L. V., Amaral, M. M., & Catarino, P. S. 2012).	33
Figura 4.5 –a) Imagem digital da fachada da moradia b) termograma que identifica elementos estruturais ocultos.	34
Figura 4.6 – a) Imagem digital de parede de alvenaria b)Deteção de rede de abastecimento através da termografia infravermelha (Mendonça, L. V., Amaral, M. M., & Catarino, P. S. 2012).	34
Figura 4.7 – Exemplos de pontes térmicas a) localizada entre as vigas do teto e a parede vertical b) localizada entre duas paredes verticais (FLIR 2010).	35
Figura 4.8- a) Imagem digital de parede de alvenaria b) Deteção de infiltração através da termografia por infravermelhos (Mendonça, L. V., Amaral, M. M., & Catarino, P. S. 2012).	36
Figura 4.9- a) Equipamento de ensaio b) Auxilio da termografia infravermelha para deteção exata do local onde ocorre infiltração de ar (Gonçalves, M. 2015).....	36
Figura 5.1 - Termohigrómetro colocado no interior da moradia.	38
Figura 5.2 –Código de cores dos termogramas (Leila, abril de 2013)	39
Figura 5.3- Vista geral do edifício unifamiliar	40
Figura 5.4 – Composição esquemática do sistema ETICS (Oliveira, J. 2011).....	41
Figura 5.5 – Plantas dos pisos da moradia unifamiliar em estudo: a) Piso 1b) Piso 0 c) Piso -1.	44
Figura 5.6 – a) Localização de humidade através da imagem térmica b) Imagem digital com condensação superficial no paramento interior da fachada sul.	45
Figura 5.7 – a) Imagem digital do cunhal reentrante com presença de fungos e bolores b) Imagem termográfica com localização de ponte térmica.	46
Figura 5.8 – a) Imagem digital evidenciando manchas de humidade na parte superior da janela b) Imagem termográfica com perdas térmicas na parte superior da janela.	46
Figura 5.9 - a) Imagem digital evidenciando manchas de humidade na parte superior da janela b) Imagem termográfica com perdas térmicas na parte superior da janela.	47
Figura 5.10 - a) Imagem digital do cunhal reentrante com presença de fungos e bolores b) Imagem termográfica com localização de ponte térmica.	47

Figura 5.11 - a) Imagem digital da padieira da janela com o aparecimento de coloração ligeira	
b) Imagem termográfica com localização de ponte térmica.....	48
Figura 5.12 - a) Imagem digital do isolamento pelo exterior b) Imagem termográfica com localização de ponte térmica pontual.....	49
Figura 5.13 – a) Imagem termográfica de uma janela em cunhal b) Imagem digital de uma janela em cunhal.	50
Figura 5.14 – a) Imagem térmica de um cunhal reentrante com indícios de ponte térmica b) Imagem digital de cunhal reentrante.	50
Figura 5.15 – a) Termograma do envidraçado da fachada orientada a sul b) Imagem digital da fachada orientada a sul.	51
Figura 5.16 – a) imagem digital da fachada Oeste b) Deteção de elementos estruturais do edifício através da termografia por infravermelhos.....	52
Figura 5.17 – Comparação entre a moradia a) com isolamento pelo exterior b) sem isolamento através da termografia por infravermelhos.....	53
Figura 5.18 - a) Imagem térmica da fachada orientada a este b) imagem digital da fachada orientada a este.	53

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1-Principais sais presentes na humidade por higroscopicidade (Guimarães, A. S. 2013).....	14
--	----

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

As maiores preocupações no sector da construção, em geral, são provocadas pela ação de diversos agentes de degradação como a presença de água, variações bruscas de temperatura, presença de sais, vento e poluição. No entanto, não só as ações naturais causam preocupação, erros humanos ligados a uma má conceção, má qualidade dos materiais, escolhas inadequadas de ações podem causar anomalias não-estruturais.

Olhando para a prevenção, como uma forma de diminuir as patologias construtivas, é de realçar as causas que têm contribuído para uma ausência de aprendizagem com os próprios erros cometidos, tornando-os como exemplo, de forma a serem repetidos o menor numero de vezes possível, levando assim a uma aprendizagem de todos os envolvidos pela qualidade na construção.

Em Portugal até 2002, a construção de novos edifícios superava a média da união europeia. Após essa fase, ocorreu uma inversão da tendência de se construir novo, tendo a reabilitação assumido uma maior importância nas opções e nos investimentos futuros (Instituto Nacional de Estatística, 2014).

Quando olhamos para edifícios existentes na perspectiva da sua recuperação, esquecendo a ideia de demolição, encontramos um conjunto de patologias, graves ou menos graves que importam sanear, reabilitando os edifícios de forma a desempenharem com qualidade as funções para os quais foram concebidos.

No passado, o estudo do comportamento dos materiais e soluções integradas em edifícios existentes era realizado através de ensaios que colocavam em causa a integridade dos mesmos. Estes métodos levam á destruição do material, o que na prática não se torna benéfico, assim nos últimos anos tem vindo a aumentar a variedade de ensaios não destrutivos que apresentam informação das propriedades físicas e/ou mecânicas dos materiais ou mesmo dos elementos onde eles estão inseridos.

No caso de deteção de patologias não estruturais, a termografia tem vindo a destacar-se como uma técnica não destrutiva, a sua utilização em tempo real e a longas distancias torna-a uma técnica muito apreciável.

1.2. Objetivos

De acordo com a presente dissertação e com base em técnicas não destrutivas, é possível a identificação de várias aplicações relacionadas com a manutenção e reabilitação em edifícios através da análise termográfica por infravermelhos. Apesar de existirem alguns métodos para a deteção das mesmas, a termografia por infravermelhos foi o método de ensaio usado no estudo experimental realizado neste trabalho. Realizou-se uma revisão bibliográfica com base nas patologias mais recorrentes em edifícios, de forma a mais tarde facilitar a interpretação dos termogramas (imagens captadas através da termografia infravermelha). Na mesma revisão bibliográfica, focou-se o funcionamento da termografia, de forma a perceber os princípios da radiação infravermelha, técnicas de termografia existentes, as suas vantagens e limitações e ainda alguns parâmetros que podem adulterar as medições.

De forma a por em prática o objetivo principal da dissertação, realizaram-se medições termográficas num edifício unifamiliar reabilitado recentemente, com o intuito de encontrar patologias evidentes e ainda conseguir encontrar algumas soluções de forma a melhorar as condições de conforto e salubridade dos ocupantes, evitando também gastos energéticos excessivos na manutenção de uma inércia térmica adequada.

1.3. Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturalmente dividida em 6 capítulos.

No capítulo 1 é abordado de uma forma geral e resumida o conteúdo do trabalho, indicando o seu enquadramento, os principais objetivos e ainda a organização da dissertação de forma a apresentar uma pequena introdução do tema em destaque.

No segundo capítulo, são apresentados os conceitos teóricos relacionados com patologias não estruturais em edifícios e toda a sua envolvente relacionada com as mesmas, de forma a serem compreendidos alguns fenómenos, nem sempre facilmente perceptíveis.

O terceiro capítulo apresenta conceitos teóricos do funcionamento da termografia como ensaio não destrutivo na deteção e prevenção de anomalias presentes, este ensaio é bastante aprofundado nesta dissertação uma vez que será o usado no caso de estudo da mesma.

O quarto capítulo retrata alguns exemplos práticos da termografia por infravermelhos como técnica de inspeção e manutenção de edifícios.

O capítulo 5, inclui as medições termográficas efetuadas. Foi analisada a reabilitação de uma moradia unifamiliar com isolamento pelo exterior, tentou-se explorar diferentes aspetos nos quais a termografia por infravermelhos poderá apresentar um papel determinante na salubridade dos edifícios e na manutenção do conforto para com os seus utentes, assim como uma minimização de custos energéticos.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as principais conclusões obtidas através dos capítulos anteriores e ainda propostas para possíveis trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Considerações gerais

De entre as diversas patologias não estruturais, as que estão associadas ao desempenho térmico têm particular relevo, pelo que neste capítulo serão revistas ao pormenor. O isolamento térmico apresenta um papel preponderante neste campo, uma deficiente aplicação do mesmo irá provocar perdas de energia e um conseqüentemente ambiente térmico interior desagradável, juntamente com um aumento de custos de aquecimento e manutenção.

De forma a garantir que os edifícios cumprem as funções para os quais foram pensados e desenvolvidos, é necessário uma verificação e inspeção dos mesmos quando acabados. Assim, a termografia como técnica utilizada no estudo das variações de temperatura que ocorrem nas superfícies de determinados objetos/corpos, pode ser aplicada na deteção de defeitos de isolamento, pontes térmicas e fugas de ar.

2.2. Caracterização do comportamento térmico de edifícios

2.2.1 Trocas de calor em edifícios

A transmissão de calor entre dois elementos verifica-se quando se estabelece uma diferença de temperatura entre os mesmos e ocorre uma transferência de energia de um para o outro. A transmissão de calor acontece sempre no sentido do elemento com temperatura mais elevada para o de menor temperatura, e de acordo com a lei de conservação de energia, isto é, a quantidade de calor que o elemento mais “quente” cede é igual á quantidade que o elemento mais “frio” recebe. A transmissão de calor pode acontecer devido a três fenómenos distintos, condução, convecção e radiação (Marques, D. F. 2014). A figura 2.1 exemplifica os mecanismos de transmissão de calor.

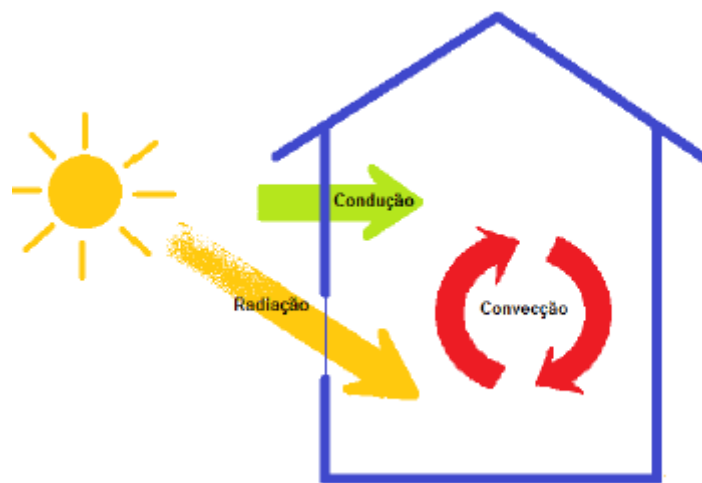


Figura 2.1 – Mecanismos de transmissão de calor (Marques, D. F. 2014).

i. Condução

A transmissão de calor por condução ocorre através da transferência de energia cinética a nível molecular em elementos sólidos, líquidos ou gasosos. Esta transferência ocorre quando existe contacto entre corpos ou substâncias com diferentes temperaturas, por meio de movimentos e choques entre as partículas de ambos (Marques, D. F. 2014). O fluxo de calor pode ser calculado matematicamente através da Lei de Fourier. Para o caso unidimensional, quando o diferencial de temperatura ocorre somente segundo a direção X, o fluxo de calor é dado por:

$$Q = -\lambda \cdot A \cdot \frac{d\theta}{dx} \tag{2.1}$$

Em que:

λ - Condutibilidade térmica do material (W/m.°C)

A- Área da superfície (m²)

d θ - Diferença de temperatura entre duas partículas.

ii. Convecção

A convecção é o mecanismo de transmissão de calor típico dos fluidos. No caso da térmica de edifícios o fluido relevante é o ar, e é através deste que ocorrem as trocas de calor. Estas trocas de calor podem ocorrer devido a diferenças de pressão originadas por gradientes térmicos (convecção natural), como é o caso de uma corrente ascensional junto de um radiador, ou então devido a diferenças de pressão com origem em causas externas (convecção forçada), como a ação do vento, ou um sistema de condicionamento do ar. As trocas de calor por convecção podem ser de dois tipos, nomeadamente, convecção ar-sólido, que ocorre entre as faces dos elementos e o ambiente em contacto com elas (interior ou exterior), e convecção

ar-ar, que ocorre entre massas de ar a diferentes temperaturas (Marques, D. F. 2014). No caso da convecção ar-sólido as trocas de calor são determinadas por intermédio da lei de Newton:

$$Q = h_c \cdot A \cdot (\theta_s - \theta_f) [W] \quad (2.2)$$

Em que:

h_c - Condutância térmica ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)

A – Área da superfície em contacto com o fluido (m^2)

θ_s - Temperatura da superfície da envolvente ($^\circ C$)

θ_f – Temperatura do ar ($^\circ C$)

iii. Radiação

A transmissão de calor por radiação é significativamente diferente das anteriores, não necessitando como elas de qualquer suporte material, ocorre entre todos os materiais e em qualquer fase. Todos os corpos emitem e recebem radiação e a quantidade de energia é apenas função da sua temperatura absoluta e do estado da sua superfície. A lei que rege a quantidade de energia radiada por um corpo radiante puro (corpo negro) foi estabelecida experimentalmente por Stefan em 1879 e comprovada teoricamente por Boltzman em 1884 com a forma:

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (2.3)$$

Em que:

ε – Emissividade da superfície emissora

σ – Constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$)

A – Área da superfície emissora (m^2)

T – Temperatura absoluta da superfície recetora (K)

2.2.2 Pontes térmicas

Segundo a norma EN ISO 10211 - *Thermal bridges in building constructions. Heat flows and surface temperatures. Detailed calculations*, o conceito de ponte térmica consiste em toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios, em que a resistência térmica é significativamente alterada. Essa alteração pode ser causada pela existência localizada de materiais de diferentes condutibilidades térmicas ou por uma modificação da geometria da envolvente, como é o caso das ligações entre diferentes elementos construtivos.

O Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH), distingue as pontes térmicas como planas e lineares. As pontes térmicas planas são uma heterogeneidade

inserida na zona corrente da envolvente, por exemplo na presença de talões de viga, pilares e caixas de estores. Segundo o REH, estas devem ser corrigidas e contabilizadas no cálculo das perdas pela envolvente. A figura 2.2 esquematiza dois exemplos de pontes térmicas, nomeadamente as planas e lineares. Relativamente às pontes térmicas lineares, estas apenas devem ser contabilizadas e podem ocorrer nas seguintes zonas:

- Ligação da fachada com os pavimentos térreos;
- Ligação da fachada com pavimentos locais não-uteis ou exteriores;
- Ligação da fachada com pavimentos intermédios
- Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço;
- Ligação da fachada com varanda;
- Ligação da fachada com caixa de estore;
- Ligação entre duas paredes verticais
- Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril.

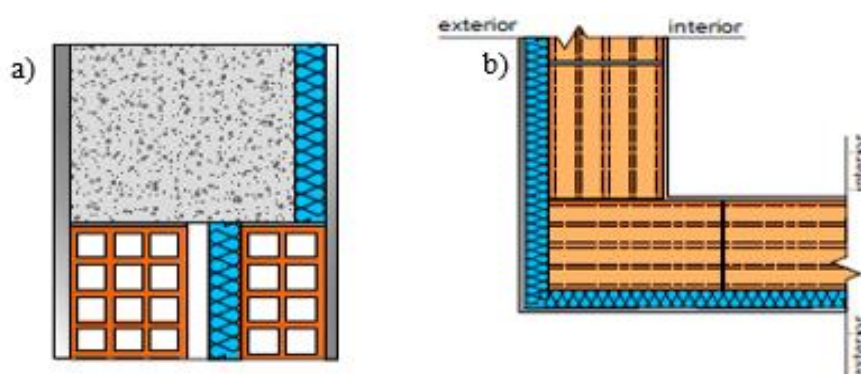


Figura 2.2 – Pontes térmicas em edifícios: a) Ponte térmica Plana b) Ponte térmica linear (ITeCons 2014).

2.2.3 Conforto térmico

O REH define o conforto térmico como um direito adquirido de todos os cidadãos, exercendo regras sobre todos os edifícios habitacionais. O Decreto-Lei nº 28/2016, implementa o sistema de certificação energética dos edifícios (SCE), de forma a promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios.

Este conforto é reconhecido quando as trocas de calor entre os seus utentes e o espaço da envolvente se processam de forma a que os corpos não necessitem de gerar ou perder grandes quantidades de calor no processo.

Relativamente á temperatura do ar, é aconselhável de acordo com o REH uma temperatura de 18°C durante a estação mais fria, e durante a estação mais quente, 25°C e uma humidade relativa de cerca de 50%.

A ventilação dos edifícios é um dos fatores mais importantes no rendimento energético das habitações. Desta forma, durante a fase de projeto da habitação é necessário ter em atenção três tipos de necessidades em relação á ventilação:

- Qualidade do ar interior
- Conforto térmico
- Prevenção dos riscos de condensação

Nos edifícios de habitação, o valor mínimo de taxa de renovação de ar estabelecido pelo regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH) é de 0.4 renovações por hora.

Quanto á humidade relativa do ar, equivale á percentagem de vapor de água contido em massa de ar, raramente implica grande importância no conforto térmico, no entanto, quando não compreendido entre 35% e 75 % pode causar patologias (Marques, D. F. 2014).

2.3. Tipos de patologias não estruturais

2.3.1. Patologias referentes a manifestações de humidade

A humidade nos edifícios apresenta-se como um fenómeno bastante corrente e de importância elevada, uma vez que o seu aparecimento pode conduzir a anomalias capazes de impedir a satisfação de habitabilidade. O seu aparecimento provoca uma minimização da durabilidade dos materiais e alteração das suas propriedades, incluindo o isolamento térmico, sendo esta talvez a causa mais influente na decadência das construções. Estes impactos diminuem a qualidade de habitabilidade e salubridade, provocando algum desconforto aos utentes dos edifícios. O combate á humidade torna-se bastante complexo, uma vez que esta pode aparecer na construção em todas as frentes, isto é, pode ser introduzido durante a construção ou após, a sua origem pode surgir do interior ou exterior, bem como proveniente do solo adjacente.

Uma boa interpretação das suas formas de manifestação, torna-se essencial para tomar medidas de prevenção de forma a garantir uma minimização de humidade no edifício. As anomalias devidas ao aparecimento de humidade podem se manifestar de várias formas, normalmente alguns sintomas conseguem ser detetados apenas por observação visual, através de ensaios, análises “in situ” ou cálculos com base em características dos materiais e locais em causa. Assim, é fulcral conhecer as várias maneiras das quais a humidade se manifesta, suas causas e sinais, para obtermos uma correta reabilitação.

2.3.1.1. Humidade na construção

Durante a construção tradicional a água tem um papel fundamental, fazendo parte da constituição de diversos materiais e métodos de construção (como é o caso da produção de betões e argamassas ou mesmo a humidificação dos tijolos na fase de assentamento). Além da

água resultante dos processos anteriormente descritos, também se deve ter em conta a água proveniente das chuvadas ocorrentes durante o processo de construção, nessa altura a construção encontra-se sem nenhum tipo de proteção estanque e sem revestimentos adequados nas paredes exteriores. Assim, entendemos por “humidade na construção” toda a água considerada em excesso e que em nada beneficia a construção. No final da construção de um edifício, este pode conter milhares de litros de água em excesso em que, se os processos de evacuação não forem os mais corretos, surgirão anomalias devido ao excesso de água.

Materiais porosos, como o betão, apresentam um processo de secagem constituído por três etapas. Inicialmente decorre a evaporação da água superficial, seguindo-se a evaporação da água contida nos poros de maiores dimensões, este mais demorado, por fim a etapa mais prolongada, pode demorar até vários anos, a evaporação da água retida nos poros de menores dimensões. Este tipo de humidade pode causar diversos tipos de anomalias, nomeadamente poderá provocar o aparecimento de manchas e ocorrendo uma diminuição de temperatura levará a uma manifestação de condensações. Na figura 2.3 estão contidos três exemplos de humidade na construção. Ao fim de um período mais ou menos longo, este tipo de humidade termina, esse período será em função da sua utilização bem como um aumento da ventilação, desumidificação e da temperatura leva a uma maior velocidade de secagem (Silva, J. A. 2010).



Figura 2.3 – Humidade na Construção a) excessiva molhagem do tijolo, na fase de assentamento b) Excesso de água nas argamassas c) Falta de proteção nos materiais no estaleiro (Silva, J. A. 2010)

2.3.1.2. Humidade de precipitação

Neste tipo de humidade olha-se para a chuva como a principal ação prejudicial, no entanto é a ação do vento que provoca uma trajetória horizontal, bastante elevada por vezes. Este acontecimento leva a água a incidir nas paredes das construções sujeitando-as a uma humedificação, que pode levar a vários perigos de humedecimento dos seus setores interiores. Caso houvesse garantias que a água não atingisse os sectores interiores, a penetração não apresentaria qualquer risco. Este tipo de ameaça deveria apenas incidir em edifícios antigos, pois de acordo com a regulamentação atual, os edifícios recentes deveriam á partida estar protegidos para este tipo de anomalias, no entanto isso não é o que acontece. O aparecimento desta contrariedade pode estar relacionado com deficiências de conceção ou de manutenção, do género de aparecimento de fissuras e da deterioração dos revestimentos.

Na conceção de um projeto de construção, aspetos como a localização geográfica e a orientação deverão ser tomados em grande conta, de forma a minimizar os riscos de incidência das chuvas nas paredes. As paredes duplas com caixa-de-ar apresentam-se como uma boa solução no combate á “humidade de precipitação”, no entanto pode-se constatar que devido a uma má aplicação dos métodos construtivos, esta solução pode apresentar um desempenho pouco ou nada satisfatório, na figura 2.1 é esquematizado causas de anomalias em paredes duplas como o grampo inclinado para o interior, excessos de argamassa, caleira obstruída e drenagem inexistente ou mal posicionada. Nos casos em que a caixa-de-ar das paredes duplas é completamente preenchida por isolamento térmico, estas paredes apresentam em situações extremas funcionar como paredes simples no que diz respeito á penetração das aguas da chuva, como por exemplo uma errada aplicação do isolamento térmico, facilitando a presença de humidade nos setores interiores devido á continuidade criada pelas diferentes camadas adjacentes (pano exterior + isolamento térmico + pano interior).

Este fenómeno provoca nas paredes irregularidades detetáveis através do aparecimento de manchas de humidade na parte interior da parede exterior, apresentado um posicionamento aleatório embora com mais frequência em vãos de portas e janelas e em zonas de fissuração. Em locais humedecidos é normal a ocorrência de bolores e efervescências, que se mantém mesmo durante os períodos de ausência de chuvas (Silva, J. A. 2010).

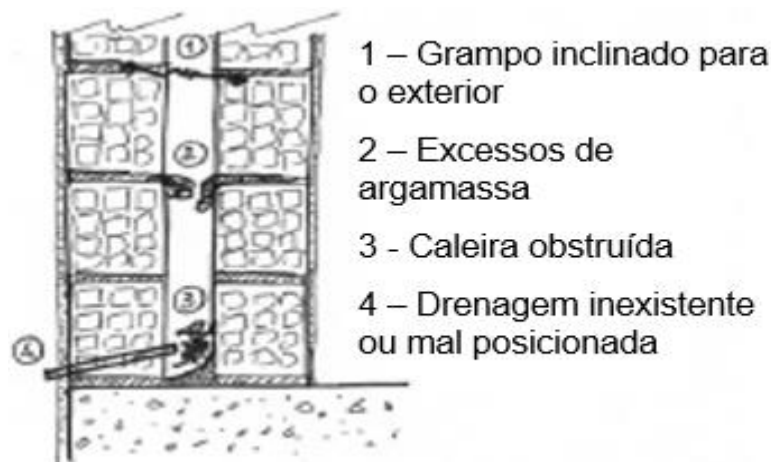


Figura 2.4-Algumas causas de anomalias em paredes duplas (Silva, J. A. 2010)

2.3.1.3. Humidade de Condensação

Um dos motivos mais recorrentes de humidade em edifícios de habitação está relacionada com a ocorrência de condensações de vapor de água atuando nos paramentos ou mesmo no interior dos elementos de construção. Numa breve explicação sobre o ar, pode-se dizer que é uma mistura de gases e vapor de água, quando atingimos o máximo valor suportável de vapor de água suportado pelo ar, estamos perante o limite de saturação. O aparecimento de condensações ocorre sempre que a temperatura baixe para valores inferiores á temperatura de saturação (temperatura correspondente ao limite de saturação). Resumindo, aumenta o perigo de ocorrências de condensações com a produção de vapor de água e com uma diminuição do valor da temperatura.

A formação de vapor de água acaba por ser inevitável, processos simples do dia-a-dia como respirar, tomar banho, confeção de alimentos são responsáveis pela sua formação. Estudos apontam para a produção de cerca de 9.100gr de vapor de água por cada habitação ocupada em media por três adultos e três crianças. Relativamente á diminuição de temperatura, as atuais construções contêm isolamento térmico que asseguram um valor de coeficiente de transmissão térmica das paredes relativamente pequeno de forma a que a temperatura superficial interior não seja inferior á temperatura de saturação prevenindo o aparecimento de condensações. No entanto, o grande problema chama-se “pontes térmicas”, conhecidas como as zonas localizadas que possuem menor isolamento térmico, que requerem uma atenção redobrada.

Pode ser calculada a temperatura interior de uma parede da seguinte forma:

$$\theta_{si} = T_i - \frac{1}{h_i} \times U(T_i - T_e) \quad (2.4)$$

Onde:

Θ_{si} – temperatura do paramento interior	[°C]
T_i, T_e – temperaturas do ar, interior e exterior	[°C]
$\frac{1}{h_i}$ – resistência térmica superficial interior	[m ² °C/W]
U – coeficiente da transmissão térmica	[W/m ² °C]

Como já concluído em cima e analisando a equação, diminui-se o risco de condensação, ou seja, aumentar o Θ_i da seguinte forma:

- Diminuir o U, aumentando o isolamento térmico
- Aumentar a temperatura ambiente

Quando ocorre a ausência de renovação do ar, o excesso de humidade que o interior das construções contém é levado para o exterior, transpondo as paredes exteriores por difusão ou condensando nas superfícies interiores da envolvente. Supondo a não existência de condensações superficiais, 95% da humidade é levada por renovação do ar enquanto os restantes 5% atravessam as paredes por difusão. Caso ocorram condensações superficiais, será possível deteta-las visualmente com o aparecimento de manchas de humidade e bolores nos paramentos interiores das paredes, geralmente as os paramentos mais afetados são exteriores, nas zonas de pontes térmicas, podendo este fenómeno também aparecer nas paredes interiores em contacto com zonas frias ou mal ventiladas (por exemplo no tardo de moveis), como no caso das instalações sanitárias. Assim, concluímos que as minimizações dos efeitos das condensações podem ser atenuadas com a colocação de isolamento corretamente, quer em zona corrente e em zona de pontes térmicas, boas condições de ventilação, aquecimento e produção de vapor controlada. Na figura 2.6 podem ser observados alguns exemplos de condensações em edifícios habitacionais.

A humidade absoluta consiste na quantidade de vapor de água que o ar contém, humidade relativa é o quociente entre a humidade absoluta e a quantidade máxima que poderia conter a essa temperatura, chamado o limite de saturação:

$$Hr = \frac{W}{W_s} \quad (2.5)$$

Onde:

Hr – Humidade relativa [%]
W – Humidade absoluta [Kg/m ³]
Ws – Limite de saturação

A humidade relativa de uma massa de ar é influenciada pela temperatura a que se encontra, ocorrendo uma diminuição quando a temperatura aumenta e vice-versa, enquanto o valor da humidade absoluta se mantém constante. Quando a humidade relativa atinge o valor limite de saturação, irá correr uma condensação relativa a todo o vapor de água existente. As relações entre humidade absoluta, relativa e a temperatura do ar podem ser avaliadas num diagrama conhecido por diagrama psicométrico, demonstrado na figura 2.5.

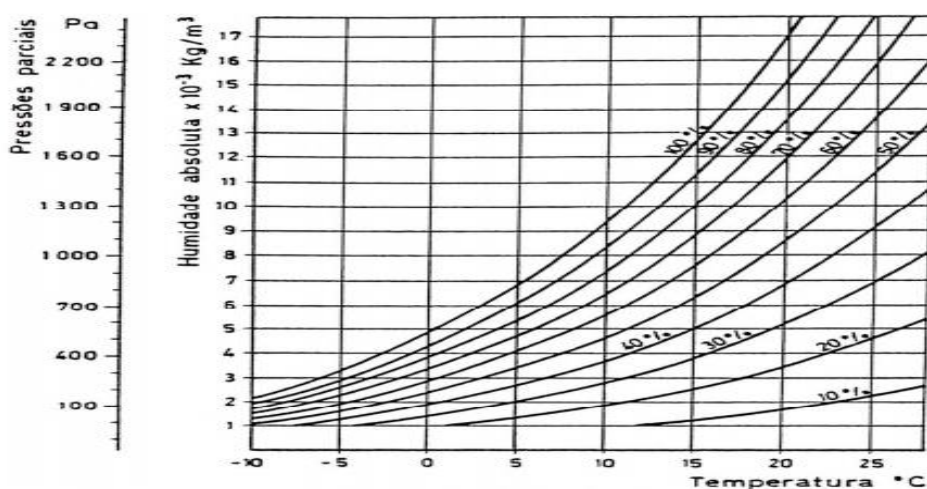


Figura 2.5 – Diagrama psicométrico (Guimarães, A. S. 2013)

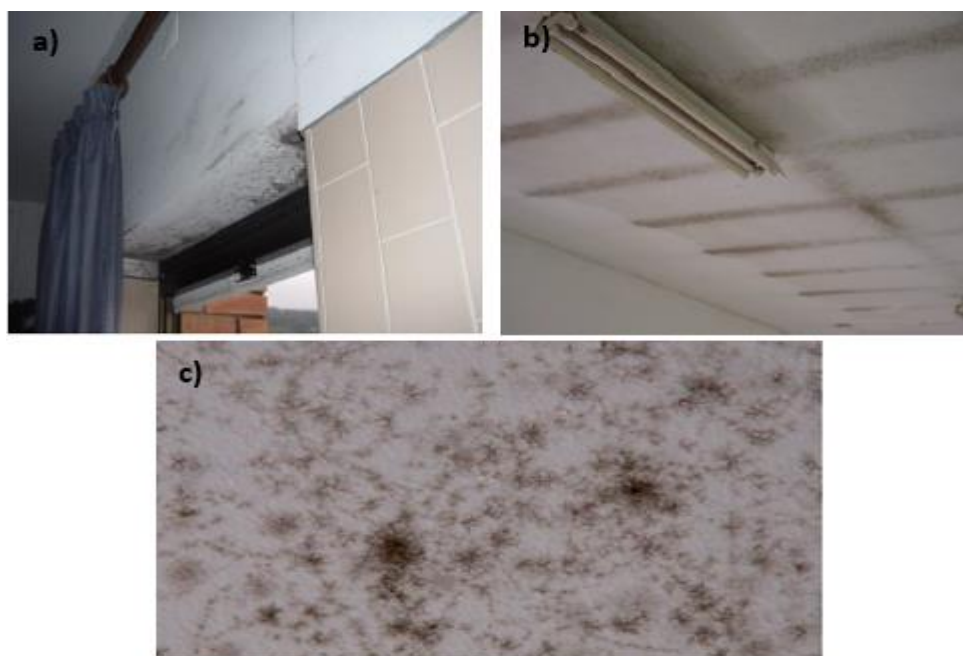


Figura 2.6 – Condensações a) Condensação típica em padieira de janela b) Condensação em zonas de ponte térmica c) Pormenor de fungos e bolores instalados em paramento (Silva, J. A. 2010).

2.3.1.4. Higroscopicidade dos materiais

Entende-se por “higroscopicidade dos materiais” como a presença de diversos tipos de sais solúveis na água existentes no interior das paredes, tanto por pertencerem à composição de um grande leque de materiais, como pela sua existência nos solos ricos em matérias orgânicas. No entanto, estes sais atuando sozinhos não trazem qualquer dano ou anomalia às paredes, mas a situação altera-se quando entram em contacto com a água, formando fluorescências (cristalização à superfície) ou cripto fluorescências (cristalização sob o revestimento da parede). No quadro 2.1, são apresentados os principais sais presentes nos materiais de construção. Quando a humidade relativa do ar ronda os 65-75%, parte destes sais são higroscópicos, ou seja, dissolvem-se a essa percentagem de humidades e voltam a cristalizar quando ocorre uma diminuição da percentagem de humidade, o fenómeno de cristalização provoca um considerável aumento de volume. Sulfatos, carbonatos, cloretos, nitritos e nitratos são os sais solúveis mais ligados à formação de patologias, embora os dois primeiros não sejam higroscópicos. A comparência destes sais provoca o humedecimento das superfícies por absorção da humidade do ar, provocando estragos que advém da sua dilatação, proveniente do fenómeno de cristalização. Resultante de fenómenos de higroscopicidade, podem estar associadas varias anomalias, que se manifestam pelo aparecimento de manchas de humidade nos locais de maior concentração de sais higroscópicos e demolição dos revestimentos das paredes graças á junção desses sais (Silva, J. A. 2010).

Sais mais frequentes	
Nitratos	Sais de origem organica, por isso mais frequentes em zonas rurais. O mais corrente é o nitrato de cálcio, que cristaliza a 25°C e a uma humidade relativa de 50%.
Sulfatos	Sais bastantes soluveis. Cristalizam com grande aumento de volume, por exemplo o sulfato de calcio aumenta em 40% o seu volume.
Clorestos	Provenientes essencialmente dos materiais de construção, água e de ambientes marinhos. Absorvem grandes quantidades de água quando combinados com outros sais, particularmente com os sulfatos.
Carbonatos	Estão também presentes nos materiais de construção, transformando-se em bicarbonatos sob a acção da água e do dióxido de carbono.

Quadro 2.1-Principais sais presentes na humidade por higroscopicidade (Guimarães, A. S. 2013).

2.3.1.5. Causas fortuitas

As humidades resultantes de infiltrações de água podem estar associadas a defeitos de construção ou de equipamento, na maior parte das vezes associadas a responsabilidades humanas, ativa no caso de acidentes ou passiva no caso de falta de manutenção. As roturas de canalizações são o exemplo mais frequente deste tipo de riscos. Aparenta ser uma patologia que facilmente se reconhece a sua origem, no entanto acaba por não ser assim tão fácil, uma vez que este tipo de patologias pode surgir muito longe da sua origem, devido às frequentes migrações da água no interior dos diversos elementos da construção. Nas paredes exteriores e coberturas também podem ocorrer infiltrações, como foi abordado no ponto 2.3.1.2 da presente dissertação, retratando as infiltrações potenciadas através de precipitação. Podendo assim, considerar as águas pluviais como causas fortuitas. A figura 2.7 apresenta três exemplos de causas fortuitas.



Figura 2.7 – Causas fortuitas a) Infiltração devido a rotura de canalizações b) Infiltração localizada e fortuita c) Infiltração pontual e fortuita (Silva, J. A. 2010).

2.3.1.6. Humidade ascensional

Determinados materiais de construção possuem valores referentes ao coeficiente de capilaridade relativamente altos, provocando ascensão capilar quando entram em contacto com água ou solo húmido. No caso de uma parede, a ascensão de água pode adquirir bastante elevação, variando com a porometria dos materiais aplicados (quanto menor o diâmetro dos

poros, maior a elevação da água), da quantidade de água em comunhão com a parede, das circunstâncias de evaporação, da espessura, e por fim da fase do ano de construção e sua orientação.

Ocorre contacto das paredes e fundações com água, quando estas são contruídas abaixo do nível freático, no entanto, esse contacto também poderá existir quando a construção é realizada acima do nível freático, existindo um solo de enorme capilaridade, que irá ascender a água instalada a uma altura inferior. Quando as paredes estão inseridas de forma a que as vertentes do terreno se encontrem voltadas para as mesmas ocorrem escorrências, sendo esta outra forma de contacto com a água. Portanto, verifica-se que as águas freáticas e superficiais são as duas origens para o fenómeno de humidade ascensional.

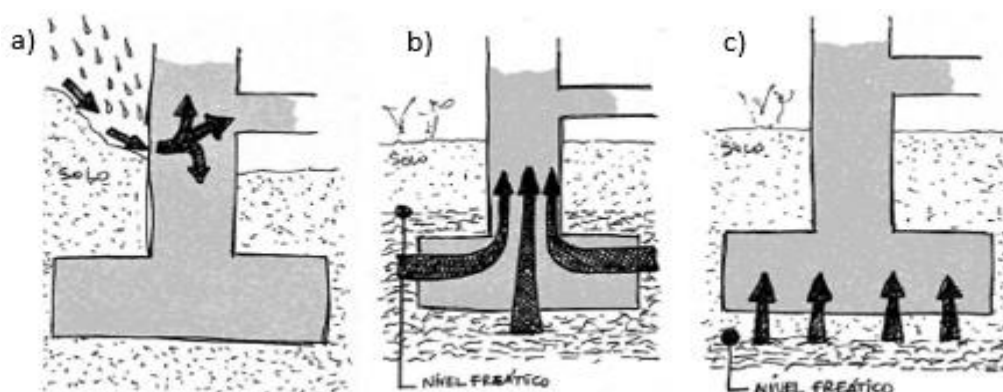


Figura 2.8 – a) Escorrência de água sobre a parede b) Parede construída abaixo do nível freático c) Ascensão capilar através do terreno (Silva, J. A. 2010).

A ocorrência deste fenómeno numa parede, desenvolve-se até acontecer o equilíbrio entre a água evaporada através da superfície da parede e a absorvida do solo por capilaridade. Todavia, com a colocação de material impermeável, redução da capacidade de evaporação da parede, obtém-se um aumento de altura de ascensão capilar até ocorrer novo equilíbrio, outra situação que leva a um acontecimento idêntico, é a presença de sais no terreno e nos materiais de construção. A presença destes, que vão acompanhar a ascensão capilar até níveis mais elevados da parede, e quando atingem a superfície, a água evapora-se e os sais cristalizam o que leva a um aumento de volume e conseqüentemente uma diminuição gradual do tamanho dos poros, o que irá complicar a evaporação da água e irá levar a um aumento da ascensão capilar.

Concluindo, este fenómeno pode revelar-se através do aparecimento de manchas de humidade nas zonas inferiores das paredes, zona de contacto com o solo, essas manchas normalmente vêm acompanhadas de eflorescências e criptoflorescências, manchas de bolor e vegetação parasitaria, lembrando que zonas que apresentam falta de ventilação apresentam resultados mais problemáticos (Silva, J. A. 2010).



Figura 2.9 – Humidade ascensional: a) em edifício histórico, agravada pela presença de degrau com inclinação para o lado da parede b) Parede sujeita ao fenómeno, agravado pela impermeabilização parcial da face interior c) em edifício de construção recente, proveniente de águas exteriores infiltradas através do incorreto desempenho da soleira (Silva, J. A. 2010).

2.3.2. Patologias e consequências do deficiente isolamento térmico

2.3.2.1. Infiltrações de ar

A renovação do ar dos espaços interiores através de ventilação é de extrema importância, com o intuito de evitar o aparecimento de fungos e bolores em zonas propícias a patologias. Segundo o REH, nos edifícios de habitação o valor de taxa de renovação horária de ar calculada de acordo com as disposições previstas para o efeito em Despacho do Diretor-geral de energia e geologia, deve se igual ou superior a 0.4 renovações por hora.

No entanto, quando a entrada de ar nos espaços interiores não é controlada pode provocar consequências desfavoráveis. Um edifício está sujeito a várias ações naturais, a pressão dos ventos a incidir no edifício e as diferenças de temperatura entre o exterior e o interior do edifício são algumas das ações que provocam uma pressão negativa de 2-5 Pa, quando se atinge este intervalo e o mesmo provoca a entrada de ar frio no interior do edifício, devido a falhas de isolamento ou de vedação, estamos perante as chamadas infiltrações de ar. Normalmente a infiltração de ar ocorre nas juntas e veios da estrutura do edifício. A entrada

de um fluxo de ar frio, por exemplo, numa divisão do edifício, levará a uma danificação substancial do ambiente térmico interior, provocando um mau estar para os utentes e um aumento dos consumos de energia, de forma a manter os espaços a temperaturas desejáveis. De forma a evitar o desconforto térmico causado pela infiltração de ar, o ensaio da porta ventiladora através da sua metodologia permite identificar zonas localizadas onde essas ocorrem. Na figura 2.10 são esquematizados três casos práticos de infiltrações de ar em edifícios.

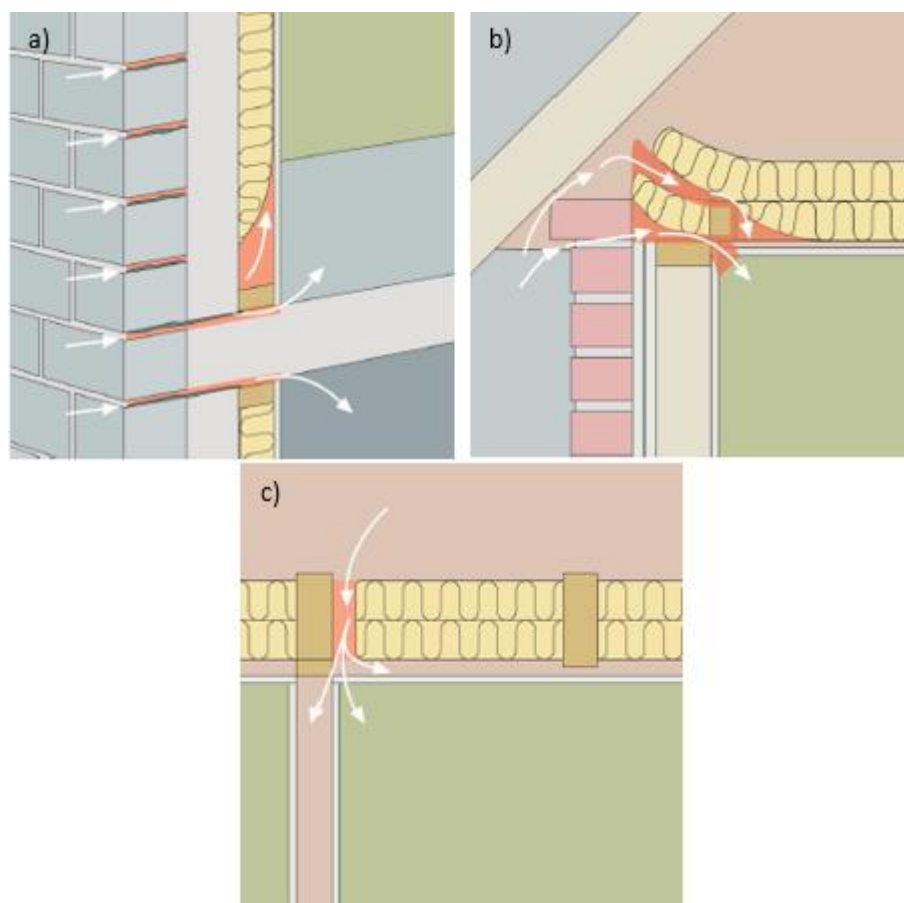


Figura 2.10 – a) Infiltração de ar no soalho sobre espaço de serviço de betão devido a fendas na fachada de alvenaria b) Deficiências de isolamento no beiral de uma habitação c) Piso intermedio com as placas de isolamento colocadas incorretamente (FLIR 2010).

Ensaio com porta ventiladora (Blower door test)

A porta ventiladora é um aparelho que tem o objetivo de determinar a estanquidade da envolvente de um edifício e identificar os locais onde ocorram infiltrações de ar, a localização das mesmas pode ser efetuada através de uma câmara termográfica. O equipamento

necessário para o ensaio está ilustrado na figura 2.10, e divide-se em quatro componentes principais:

- Ventilador de velocidade capaz de induzir uma diversidade de caudais de ar satisfatória para pressurizar e despressurizar edifícios com distintos volumes;
- Controlador de pressão ou também chamado de manómetro, com a função de medir a pressão diferencial inculida no ventilador através da envolvente do edifício;
- Controlador de velocidade e um sistema de montagem, com o objetivo de instalar na porta do edifício que liga o interior ao exterior.



Figura 2.11- Legenda do ensaio com porta ventiladora (blower door test) (Gonçalves, M. 2015).

Relativamente ao ensaio, a norma de referência para realizar este é a EN 13829:2001, onde é descrito que o ensaio de pressurização pode ser usado para:

- 1- Medir a permeabilidade do ar de um edifício ou parte dele para que cumpra com as especificações de projeto e estanquidade;
- 2- Comparar a permeabilidade ao ar relativa de edifícios ou partes de edifícios similares;
- 3- Identificar as fontes de infiltração de ar;

4- Determinar a redução da fuga de ar resultante de medidas individuais de ajuste aplicadas no edifício ou parte de um edifício.

2.3.2.2. Deficiências de isolamento

Relativamente a zonas com falhas de isolamento térmico, as consequentes pontes térmicas produzem gastos energéticos desfavoráveis e provocam patologias relacionadas com fenómenos higrotérmicos. Essas zonas são habitualmente formadas por ligações entre elementos construtivos, pontos preferenciais para a concentração de tensões. As patologias geradas pelas pontes térmicas, são associadas ao aparecimento de fenómenos de condensação originadas por um abaixamento da temperatura dos paramentos nas zonas das mesmas. Relativamente às falhas de isolamento, elas não provocam necessariamente infiltrações de ar. A figura 2.12 apresenta três exemplos relativos a deficiências de isolamento.

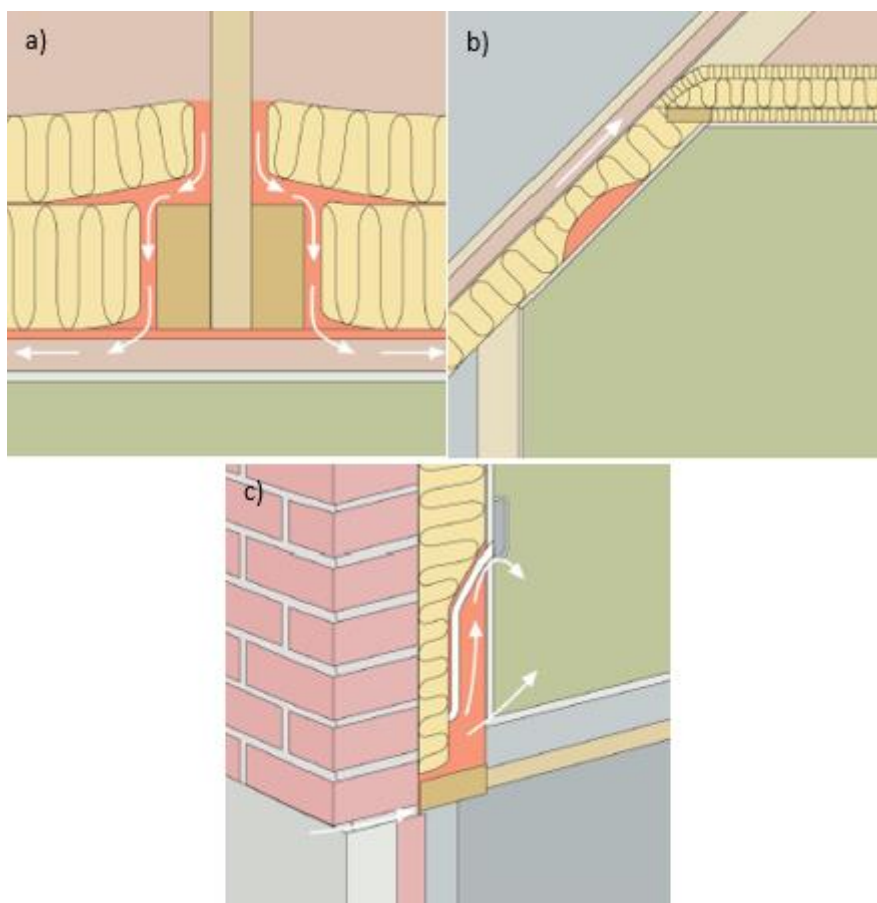


Figura 2.12 – a) Incorreta colocação de isolamento sobre a viga do pavimento b) Incorreta colocação do isolamento, originando uma bolsa de ar no lado exterior do teto inclinado c) Colocação incorreta de placas de isolamento na presença de uma rede de alimentação elétrica (FLIR 2010).

3. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA APLICADA EM EDIFÍCIOS

3.1. Nota introdutória

Considerada uma técnica não destrutiva, a termografia infravermelha permite adquirir imagens térmicas através da utilização de equipamentos de leitura de radiação infravermelha irradiada pelas superfícies dos corpos. Um dos seus principais objetivos é a deteção de falhas e lacunas no isolamento térmico de paredes exteriores e pavimentos, delimitando a dimensão das mesmas. Recentemente, esta aplicação no sector da Construção civil tem obtido um desenvolvimento bastante aceitável, avaliando o comportamento térmico dos edifícios ou parte dos elementos construtivos. O diagnóstico dos edifícios em termos de perdas de calor e deteção de problemas em instalações mecânicas e elétricas, a caracterização das soluções aplicadas na envolvente dos edifícios, a avaliação dos coeficientes de transmissão térmica da envolvente dos edifícios e a análise de pontes térmicas na construção são alguns dos exemplos das aplicações da termografia infravermelha na engenharia civil. (Simões, M. I. 2012)

Resumidamente, no ramo da construção civil existem algumas aplicações para a termografia por infravermelhos. As mais utilizadas encontram-se nas áreas de diagnóstico e manutenção de edifícios. Assim, um ensaio termográfico realizado a um edifício permite identificar o seguinte:

- Perdas de energia através da envolvente;
- Falta ou defeitos de isolamento;
- A presença de fugas ou infiltrações de ar;
- Aparecimento de humidade em qualquer um dos paramentos do edifício;
- Localização de pontes térmicas e elementos estruturais;
- Localização de infiltrações em coberturas planas;
- Deteção de redes de abastecimento;
- Falhas em sistemas de aquecimento ou arrefecimento;
- Infiltrações devidas a deficientes canalizações.

No presente capítulo será desenvolvida esta técnica.

3.2. Radiação infravermelha

Herschell em 1800 descobriu os raios caloríficos, os quais hoje são chamados de raios infravermelhos. Estes encontram-se dentro do espectro eletromagnético e deslocam-se á

velocidade da luz em relação ao seu observador. A visão humana apenas consegue alcançar uma parte reduzida do espectro, essa parte pertence a um intervalo de comprimento de onda na ordem de 0,4µm e 0,75 µm. Comparativamente com o espectro visível, os raios infravermelhos apresentam-se por uma gama de valores que variam entre os 0.75 e os 1000 µm (Figura 3.1). De uma forma geral, os objetos emitem radiação infravermelha e a sua intensidade está relacionada com a temperatura do objeto e também pela sua capacidade de emitir radiação, designada por emissividade.

	RAIOS CÔSMICOS		RAIOS γ				RAIOS X		ULTRA-VIOLETAS	VISÍVEL	INFRAVERMELHOS				ONDAS DE RÁDIO												
λ			10 ⁻⁴ nm	10 ⁻³ nm	10 ⁻² nm	10 ⁻¹ nm	1 nm	10 nm	0,1 µm	1 µm	10 µm	100 µm	0,1 cm	1 cm	10 cm	1 m	10 m	100 m	1 km	10 km	100 km						
v (Hertz)			3,10 ²¹	3,10 ²⁰	3,10 ¹⁹	3,10 ¹⁸	3,10 ¹⁷	3,10 ¹⁶	3,10 ¹⁵	3,10 ¹⁴	3,10 ¹³	3,10 ¹²	3,10 ¹¹	3,10 ¹⁰	3,10 ⁹	3,10 ⁸	3,10 ⁷	3,10 ⁶	3,10 ⁵	3,10 ⁴	3,10 ³						

Figura 3.1 – Espectro eletromagnético (Barreira, E. S. 2004).

3.3. Equipamento de medição – Câmaras termográficas

3.3.1. Considerações gerais

Segundo a lei de Stefan-Boltzmann, a intensidade da radiação térmica emitida por um corpo/objeto depende da sua temperatura e da sua capacidade de emitir radiação, obtida através da sua emissividade. Esta lei, é dada pela seguinte equação:

$$W = \epsilon \cdot B \cdot T^4 \tag{3.1}$$

Em que:

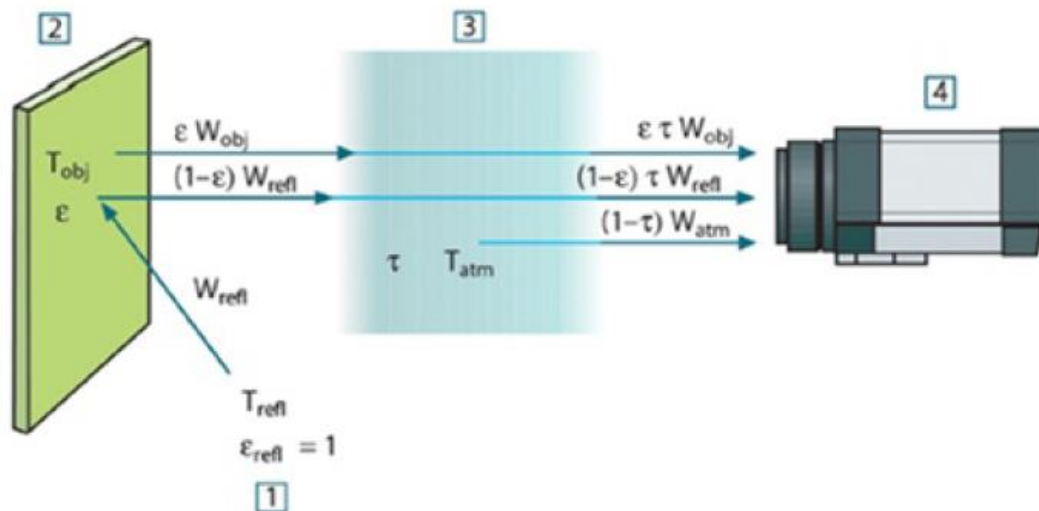
W: Taxa de emissão de energia radiante(W/m²);

ε: Emissividade do corpo (adimensional);

B: Constante de Stefan-Boltzmann (5,7.10⁻⁸ W.m⁻².K⁻⁴);

T: Temperatura absoluta do corpo (K).

O equipamento que traduz a radiação infravermelha em imagens digitais é a câmara termográfica. Esta intercepta não só a radiação vinda do objeto em estudo, mas também toda a proveniente da sua envolvente. Na figura 3.2, está esquematizado o processo de captação através de uma câmara termográfica.



1 (entorno), 2 (objeto), 3 (atmosfera), 4 (câmara termográfica), ϵ (emissividade), τ (transmitância), T (temperatura) e W (taxa de emissão)

Figura 3.2- Representação esquemática de uma situação geral de medição (FLIR, 2011).

Resumidamente, o sensor da câmara termográfica transforma a radiação captada em pulsos elétricos, os quais são amplificados e convertidos em sinais digitais. Mais tarde, estes sinais podem ser visualizados em imagens coloridas correspondentes à temperatura do objeto, designadas por termogramas.

3.3.2. FLIR E40bx

A obtenção de imagens termográficas no estudo experimental presente nesta dissertação foi realizada com a utilização de uma câmara de modelo FLIR E40bx, e o tratamento posterior de imagens realizou-se através do software FLIR QuickReport, este permitiu a medição de temperaturas em determinados pontos ou áreas, modificação do grau de cores e até o ajustamento de parâmetros de emissividade, humidade relativa e temperatura.

Relativamente às funções das câmaras térmicas, estas variam consoante o seu modelo. O modelo FLIR E40bx apresenta como principais especificações técnicas:

- Qualidade de imagem térmica de 160x120 pixels;
- Sensibilidade térmica <0,045°C;
- 3 Pontos móveis;
- Faixa de temperatura entre -20 a 650°C;
- Câmara digital incorporada de 3.1 Mpixels;
- Bluetooth/WIFI



Figura 3.3 – Câmara termográfica E40bx (FLIR 2010).

3.4. Técnicas de medição termográfica

Como já foi abordado anteriormente nesta dissertação, a câmara de infravermelhos tem como objetivo medir a radiação infravermelha transmitida pelos objetos. Essa radiação varia com a temperatura superficial do objeto em estudo, desta forma a temperatura é calculada e revelada pela câmara. No entanto, a variação da radiação calculada pela câmara não varia apenas com a temperatura. A emissividade, o meio exterior e o efeito de absorção da atmosfera são alguns exemplos que tal como a temperatura influenciam a radiação.

3.4.1. A emissividade do objeto

Numa rápida descrição, a emissividade baseia-se na medição da variação da gama de radiação emitida pelo objeto relativamente ao que um corpo negro perfeito emite, à mesma temperatura. No conteúdo geral da construção civil, a maioria dos materiais de construção apresentam valores de emissividade na gama 0.9 a 0.95, facilitando a obtenção de uma medida precisa para a sua temperatura.

No momento da medição da emissividade de um objeto vários parâmetros como a temperatura, o comprimento de onda, o ângulo de visão, geometria e condição do objeto devem ser tomados em conta, pelas seguintes razões:

- 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).

Os metais apresentam baixa emissividade, os não oxidados representam um caso extremo de perfeita opacidade e de elevada reflexividade. Nos não-metais, a emissividade tende a ser elevada e diminui com a temperatura.

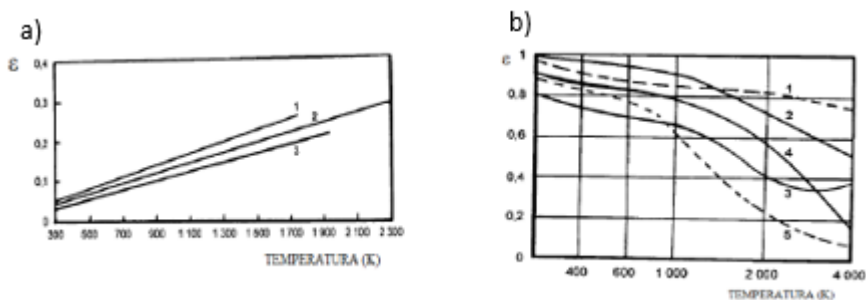


Figura 3.3- Variação da emissividade com a temperatura para: a) alguns metais: (1) níquel, (2) tungsténio, (3) platina; b) alguns não metais: (1) borracha, (2) porcelana, (3) cortiça, (4) papel, (5) argila refratária (adaptado de Gaussorgues, 1999)

- Influência do comprimento de onda

De acordo com Gaussorgues (1999), a emissividade é influenciada pelo comprimento de onda variando com os diferentes estados físicos, por exemplo, para os sólidos de uma forma lenta e para os gases e líquidos apresenta flutuações bruscas. Na próxima figura vemos que para os metais a emissividade baixa com o aumento do comprimento de onda e por sua vez o processo inverso para os não-metais, em que a emissividade tende a aumentar com o comprimento de onda.

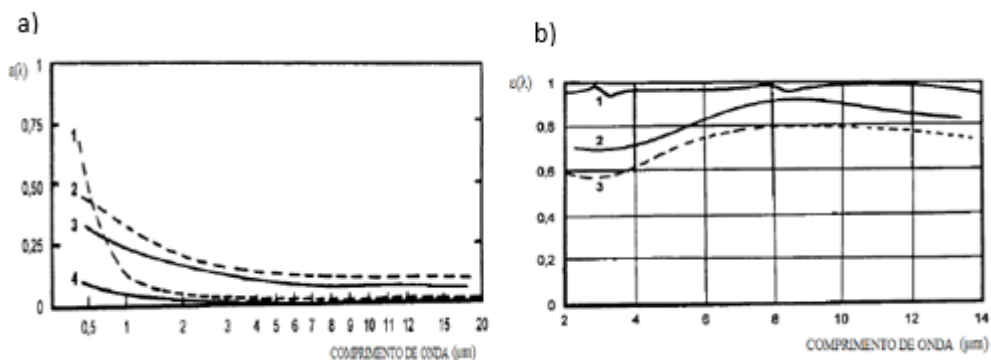


Figura 3.4- Variação da emissividade com o comprimento de onda para: a) alguns metais: (1) cobre, (2) ferro, (3) alumínio, (4) prata; b) alguns não metais: (1) água, (2) terra, (3) plástico; (adaptado Gaussorgues, 1999)

- Influência do ângulo de observação

Relativamente ao ângulo de observação, quando o próprio aumenta em relação à normal da superfície do corpo/objeto verificamos que a emissividade diminui. Pensando em superfícies não planas e sem alteração de material verifica-se que a emissividade apresenta uma variação de ponto para ponto no mesmo material variando apenas com o ângulo de incidência. Segundo (Meola, 2012), acima de um ângulo de 45° em relação à normal, regista-se um abaixamento brusco da emissividade, enquanto que se torna nula para um ângulo de observação de 90°, como se pode verificar na figura seguinte.

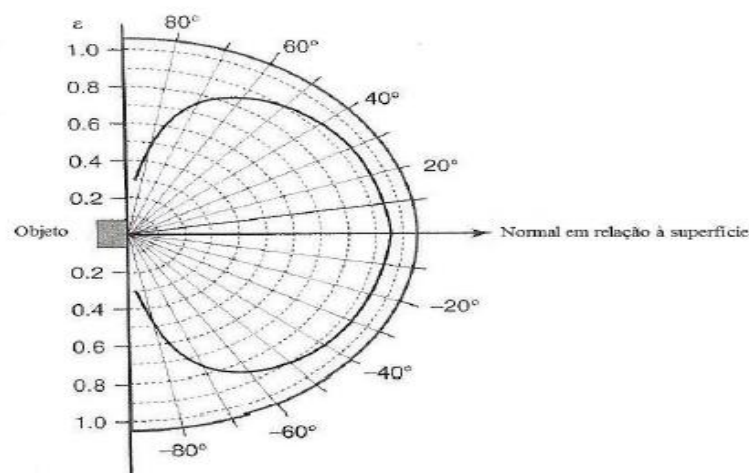


Figura 3.5- Variação da emissividade com o ângulo de observação (adaptado de Meola, 2012).

- Influência da geometria e condições do objeto

A emissividade varia de acordo com a geometria do objeto/corpo, formas convexas diminuem o valor da emissividade, por outro lado as formas côncavas aumentam o valor do mesmo. Seguindo o pensamento de Gaussorgues, percebe-se que a condição do objeto também influencia a emissividade, nos metais quando o nível de oxidação aumenta leva a um aumento também da emissividade, por outro lado, se o valor for baixo a emissividade também será baixa, como se verifica na próxima figura 3.6.

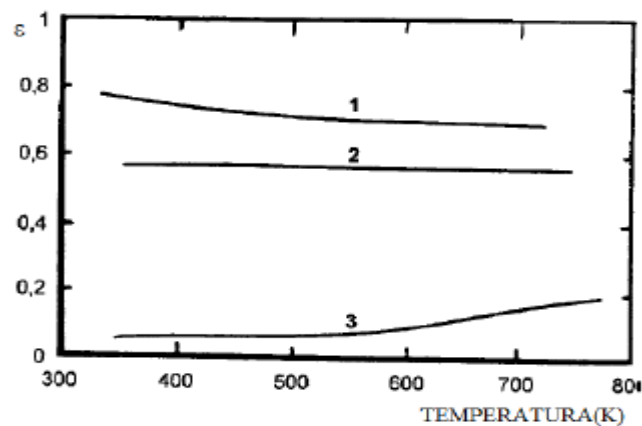


Figura 3.6- Variação da emissividade de um metal com a influência do seu nível de oxidação: (1) cobre muito oxidado, (2) cobre levemente oxidado, (3) cobre polido; (adaptado de Gaussorgues, 1999)

3.4.3. Distância

A distancia referida neste parâmetro representa a que separa o objeto em estudo com a lente frontal da câmara. Desta forma cria-se conformidade para os dois seguintes aspetos:

- A radiação do alvo seja absorvida pela atmosfera entre o objeto e a câmara.
- A radiação da atmosfera seja descoberta pela câmara.

3.4.4. Humidade relativa

A câmara tem a capacidade de criar um equilíbrio para o caso de a transmitância (fração de luz incidente com um comprimento de onda específico, que atravessa uma amostra de matéria) depender também da humidade relativa da atmosfera, assim corrige para o valor correto da mesma. No caso de distâncias curtas e humidade normal, um valor de 50% é normalmente predefinido.

3.4.5. Temperatura aparente refletida

De forma a equilibrar a radiação refletida pelo objeto, esta opção é usada. Por exemplo, caso a emissividade seja baixa e a temperatura do próprio objeto apresente valores diferentes da refletida pelo mesmo, é necessário equilibrar a temperatura aparente refletida.

3.5. Instruções sobre estudos no terreno

3.5.1. Normas gerais

- Uma vez que a maior parte dos materiais de construção apresentam uma emissividade entre 0.85 e 0.95, considera-se 0.9 como um valor aceitável inicial a ser colocado na câmara termográfica.
- As análises através de termografia infravermelha nunca deverão ser desacompanhadas na altura de serem tomadas medidas, o acompanhamento de outros métodos como os desenhos de execução, higrómetros, registos de humidade e temperatura serão alguns dos métodos que podem ajudar juntamente com a termografia infravermelha a serem tomadas as medidas corretas.
- O ajustamento do nível e do campo são essenciais para um bom ajustamento térmico e assim a imagem infravermelha revelar mais e melhores pormenores.

3.5.2. Fontes de interferência nos resultados da termografia infravermelha

Durante a utilização deste método não-destrutivo existem vários aspetos que devem ser levados em conta, de forma a não se retirar conclusões erradas das observações efetuadas aos objetos inspecionados. Assim, na termografia por infravermelhos existem algumas fontes de interferência que ocorrem usualmente na prática, tais como:

- Incidência de sol na área sujeita á análise termográfica, como por exemplo a incidência solar a penetrar uma janela;
- Tubagem de radiadores de aquecimento;
- Existência de luzes direcionadas ou próximas da área a ser inspecionada;
- Ocorrência de fluxos de ar direcionados para a superfície em análise.

Apesar do que foi dito anteriormente, em alguns casos o efeito do sol é benéfico para a deteção de defeitos da construção ou anomalias que apenas surgem quando ocorre a aplicação de calor na superfície, como por exemplo a humidade.

3.6. Vantagens da termografia infravermelha

Quando se fala nas vantagens da termografia infravermelha, rapidamente é perceptível que a mais importante reflete na não existência de destruição de nenhuma zona do corpo/objeto que está a ser inspecionado durante o ensaio, a juntar a esta vantagem temos os seguintes requisitos que a termografia infravermelha cumpre:

- Medir com facilidade temperaturas de objetos móveis e de difícil acesso;

- Localização precisa de anomalias em tempo real;
- Redução de custos de operação e manutenção;
- Precisão elevada e alta fiabilidade;
- Rápido tempo de resposta, permitindo assim, seguir fenómenos transitórios de temperatura;
- Segurança na medição sem a utilização de contacto físico;
- Prevenção contra riscos de incêndio;
- Aumento da vida útil dos equipamentos, assim como a redução das emissões de CO₂;
- Medições em condições reais de funcionamento, sem simulação ou ensaios destrutivos.

Assim, definimos a termografia infravermelha como um método rápido na análise de superfícies, sem a necessidade de utilizar equipamentos de proteção individual ou coletiva de forma a diminuir alguns aspetos como o tempo de inspeção, as horas de trabalho e o aluguer de equipamentos. Não danifica a estética do material a ser inspecionado e também não envolve o levantamento de poeiras, uma vez tratar-se de um método não-destrutivo como já foi referido anteriormente. Em comparação com outras técnicas de inspeção, a termografia retira vantagem no aspeto de se tratar de um teste de áreas, enquanto as restantes se generalizam em pontos localizados ou em linhas.

No entanto este método apresenta algumas limitações facilmente detetáveis, a profundidade e a espessura da patologia detetada não se consegue determinar, o preço elevado das câmaras termográficas, a necessidade de uma pessoa especializada para as usar e ainda a obtenção de um gradiente de temperatura entre o exterior e interior dos edifícios na ordem dos 10-15°C, tornam-se grandes entraves na sua utilização.

3.7. Termografia passiva e termografia ativa

A termografia ativa caracteriza-se por submeter o objeto em estudo, a estímulos térmicos, sejam eles de aquecimento ou arrefecimento, provocando um contraste térmico nas zonas que se encontrem em equilíbrio térmico. O contraste térmico pode ser estimulado recorrendo a várias fontes de energia, umas mais simples como, lâmpadas de halogéneo, flaches fotográficos, jatos de ar quente e outras mais sofisticadas como pulsos ultrassónicos, radiação infravermelha, micro-ondas, lasers. As imagens térmicas são captadas durante o período de retorno ao estado de equilíbrio térmico.

No caso da termografia passiva, não há qualquer tipo de intervenção térmica, sendo o objeto analisado de acordo com a sua temperatura normal de funcionamento. É de referir que a radiação solar é considerada fonte natural. A principal vantagem desta abordagem é de apenas

necessitar da câmara termográfica para efetuar os ensaios. É utilizada fundamentalmente na medicina, na manutenção de sistemas, na avaliação de diversos processos industriais, assim como no estudo de grandes estruturas como pontes e edifícios (Sousa L. 2010).

3.8. Normalização

Existe um conjunto de normas que sustentam a inspeção com recurso à termografia infravermelha:

- EN 13187:1998
Procedimento geral para a aplicação qualitativa da técnica passiva de termografia infravermelha na avaliação térmica de edifícios:
Indicações para a análise das imagens térmicas.
- ASTM E 1933-99a:1999:
Métodos de ensaio para determinar e compensar o parâmetro emissividade.
- ASTM E 1862-97:2002
Métodos para determinar e compensar o parâmetro temperatura refletida.
- ASTM C1060-90:1997
Indicações para a inspeção qualitativa do isolamento térmico na envolvente dos edifícios.
- ASTM C1153-97:2003
Indicações sobre a localização de isolamento térmico danificado por humidade em coberturas através do uso da técnica de termografia de infravermelhos.

4. APLICAÇÕES PRÁTICAS DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA EM EDIFÍCIOS

Este capítulo servirá para demonstrar vários exemplos referentes à utilização da termografia como técnica de inspeção e manutenção de edifícios. De uma forma geral, dividiu-se as aplicações da termografia em edifícios em três grupos, nomeadamente o desempenho térmico geral da envolvente, identificação de componentes da solução construtiva e identificação de patologias. Esta técnica, além de possibilitar a deteção das patologias existentes, se usada numa fase embrionária das mesmas, pode evitar o seu agravamento e uma diminuição dos custos de manutenção ou mesmo de reabilitação.

4.1. Desempenho térmico geral da envolvente

O fator fundamental para se utilizar a termografia infravermelha em edifícios recai na ocorrência de fluxo de calor através da envolvente, independente do sentido em que ocorre. Sempre importante recordar, que o fluxo de calor se movimenta da zona mais quente para a mais fria. Uma vez reunidas as condições corretas para o desenvolvimento do ensaio, as anomalias relacionadas com deficiências de isolamento serão diagnosticadas através do aparecimento de diferentes temperaturas, o mesmo acontece em pontes térmicas. No caso da envolvente estar corretamente isolada em toda a sua totalidade, as fachadas apresentarão tonalidades de cor aproximadas em toda a área, ou seja, temperaturas próximas.

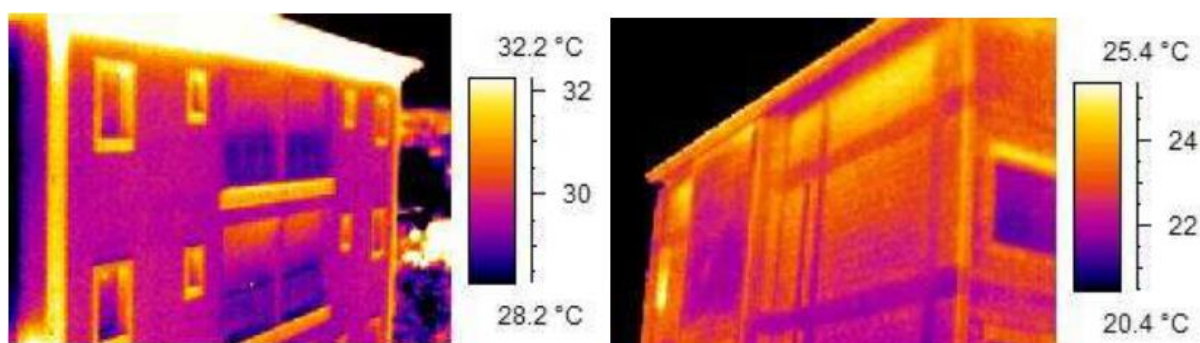


Figura 4.1 – Edifício com isolamento correto (esquerda) e edifício com pontes térmicas (direita) (Mendonça, L. V. 2008).

Uma colocação correta do isolamento térmico, mantendo as suas funcionalidades a longo prazo torna-se de extrema importância para o bom funcionamento do edifício. O desrespeito pelas regras de colocação do mesmo leva a determinadas consequências, entre elas, as pontes

térmicas localizadas que provocam a criação de fungos e bolores. Na figura 4.1, o edifício da direita apresenta o seu isolamento mal-executado, levando à ocorrência de perdas de calor. Este facto não só irá provocar mau estar nos utentes do edifício, bem como um aumento no gasto anual de energia, de forma a manter o seu interior a temperaturas desejáveis.

As figuras 4.2 e 4.3 mostram claramente a falta de isolamento térmico numa zona localizada na parede de alvenaria, nos termogramas é facilmente visível a ausência do mesmo proporcionado um aumento significativo de temperatura nessa zona (do lado exterior), e uma diminuição do lado interior.

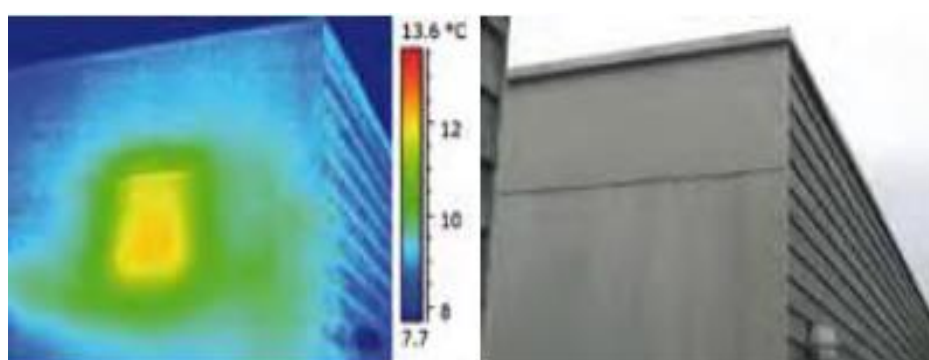


Figura 4.2- Termografia na deteção de falhas de isolamento em fachadas (FLIR 2010).

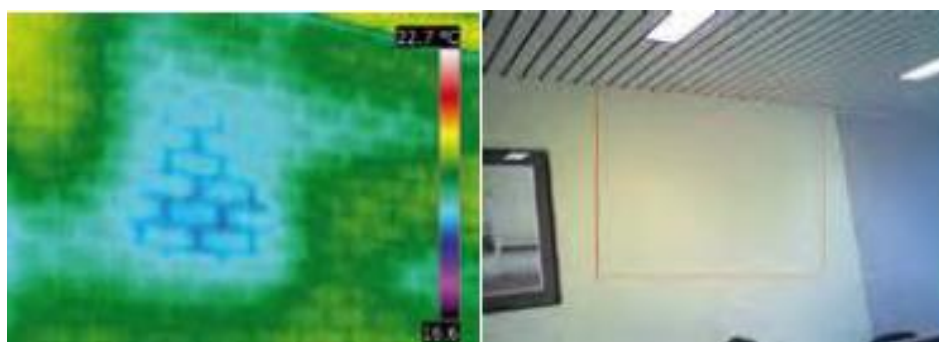


Figura 4.3- Termografia na deteção de falhas de isolamento em fachadas (FLIR 2010).

4.2. Identificação de componentes da solução construtiva

Em determinadas situações, a análise termográfica oferece a possibilidade de verificar a tipologia de elementos construtivos, assim como a localização de elementos estruturais. Esta situação é possível devido à diferença de comportamento térmico dos materiais analisados. De uma forma não intrusiva, também é possível visualizar o traçado de redes de abastecimento e

drenagens de águas residuais, a passagem dos fluidos a temperaturas elevadas facilita esta análise.

Na figura 4.4, verifica-se uma análise termográfica efetuada no interior do edifício, através desta consegue-se localizar os elementos estruturais, neste caso o pilar, uma vez que este apresenta temperaturas inferiores em relação ao pano de alvenaria que o envolve. Neste caso, zonas com temperaturas mais baixas significam maiores fluxos de calor, assim conclui-se que o pilar apresenta perdas de energia para com o exterior.

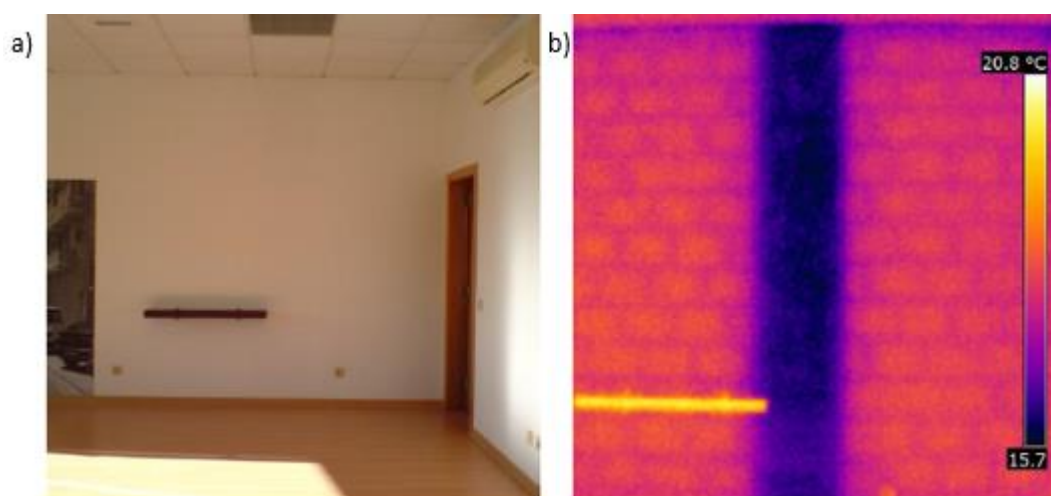


Figura 4.4 –a) Imagem digital com pilar oculto b) Imagem termográfica que identifica o pilar (Mendonça, L. V., Amaral, M. M., & Catarino, P. S. 2012).

Durante a execução do procedimento experimental que é exibido no capítulo 5 da presente dissertação, foram recolhidos alguns termogramas de envolventes relativos a moradias vizinhas. Na figura 4.5, através da imagem térmica são facilmente identificadas zonas com diferentes soluções construtivas. Trata-se de uma moradia com paredes constituídas por alvenaria de tijolo, tendo um revestimento de argamassa e lajes de betão armado. Estas aparecem com uma temperatura superior em relação à envolvente de alvenaria, significando um maior fluxo de calor do interior para o exterior nessa zona localizada, provocando as chamadas pontes térmicas.

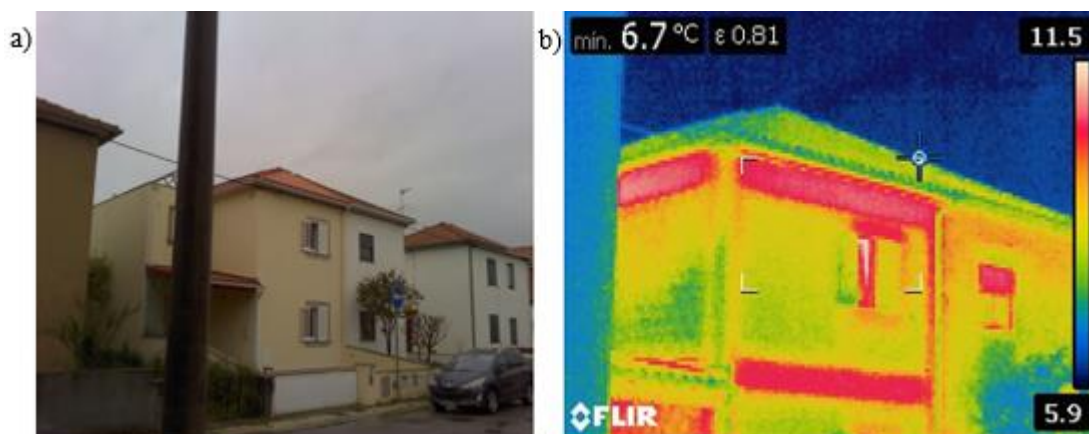


Figura 4.5 –a) Imagem digital da fachada da moradia b) termograma que identifica elementos estruturais ocultos.

A termografia infravermelha poderá também ser uma mais valia na localização de circuitos ocultos, como por exemplo redes de abastecimento, ilustrado na figura 4.6. Nesta, observa-se a presença de um circuito de distribuição de água quente, que não seria detetado de forma não destrutiva sem o recurso à técnica. A utilização desta implica a prevenção de danos desnecessários, como por exemplo perfurações em tubagens.

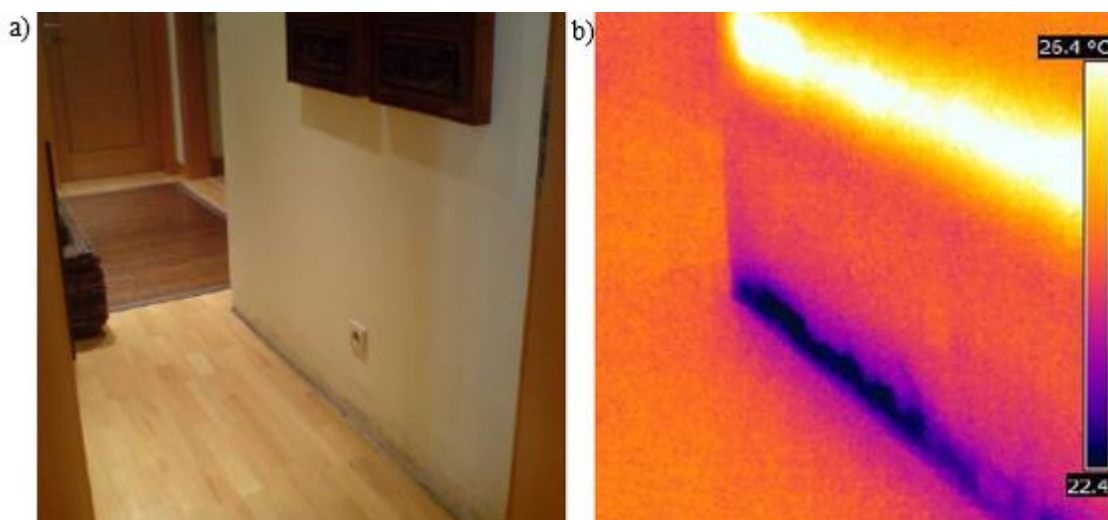


Figura 4.6 – a) Imagem digital de parede de alvenaria b) Deteção de rede de abastecimento através da termografia infravermelha (Mendonça, L. V., Amaral, M. M., & Catarino, P. S. 2012).

4.3. Identificação de patologias

Durante a vida útil dos edifícios, estes apresentam várias patologias que influenciam o conforto e salubridade dos seus habitantes e por vezes coloca em risco as condições de segurança devido à sua utilização. De forma a melhorar as suas condições térmicas e minimizar os gastos de consumo de energia, muitos utentes optam por reabilitar os seus edifícios. Através da termografia é possível identificar anomalias que já se manifestaram ou mesmo, ainda estejam numa fase embrionária e não sejam detetadas visualmente. A termografia por infravermelhos é uma das técnicas mais utilizadas na deteção e avaliação de pontes térmicas existentes, avaliando a sua posição e dimensão. Quando observadas do seu interior, estas apresentam uma temperatura mais baixa em comparação com a zona corrente, evidenciando as maiores perdas de calor e o aparecimento de condensações devido à diminuição da temperatura superficial, o que leva ao desenvolvimento de bolores e fungos. Na figura 4.7, podem ser observados exemplos de pontes térmicas detetadas através de uma câmara termográfica.

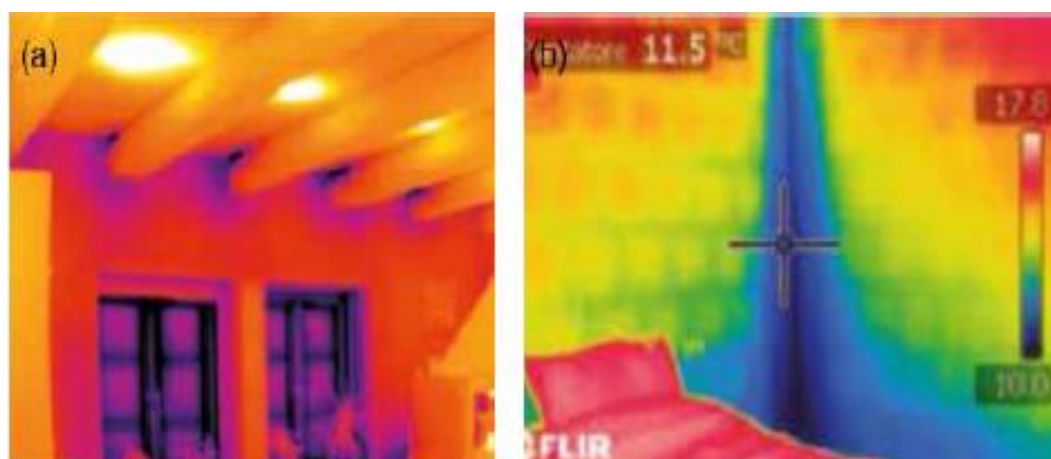


Figura 4.7 – Exemplos de pontes térmicas a) localizada entre as vigas do teto e a parede vertical b) localizada entre duas paredes verticais (FLIR 2010).

Quando se fala de patologias em edifícios, as infiltrações apresentam-se como um caso bastante complexo, não só pela difícil deteção da sua localização, mas também pela reabilitação das mesmas. Estas ocorrem em paredes de fachada e normalmente em pontos específicos como arestas, cunhais, contornos dos vãos, reentrâncias, cornijas, fixação de acessórios, juntas de dilatação, entre outros. Em geral, estão associadas à fissuração na zona de ocorrência, quando se trata de infiltrações em pontos singulares, sendo consequência de concentração de tensões, falta de estanquidade das zonas de ligação entre materiais distintos, deterioração da vedação das juntas e ligações. Na maior parte dos casos, apresenta consequências ao nível da degradação do aspeto e das condições de conforto e salubridade, incidindo também na degradação do revestimento, que tem como consequência o aumento progressivo das infiltrações. Na figura 4.8, podemos visualizar um exemplo de infiltração.

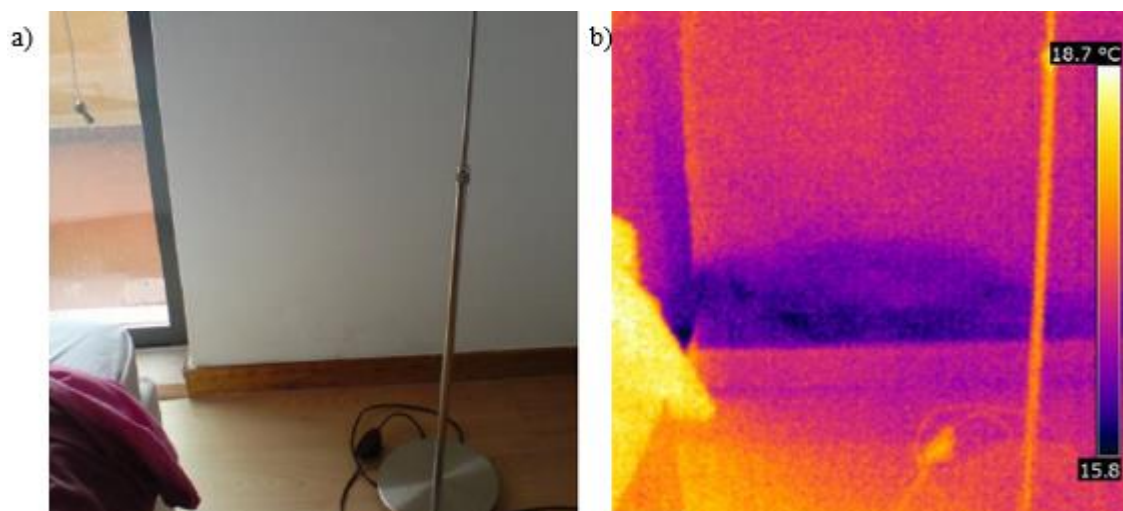


Figura 4.8- a) Imagem digital de parede de alvenaria b) Deteção de infiltração através da termografia por infravermelhos (Mendonça, L. V., Amaral, M. M., & Catarino, P. S. 2012).

No capítulo 2 foi abordado o ensaio com porta ventiladora, a execução do mesmo pode estar relacionada com fugas de ar pela envolvente do edifício, a termografia por infravermelhos alia-se a este ensaio analisando a diferença de temperaturas em zonas localizadas provocadas por infiltrações de ar em frinchas ou buracos não desejados que diminuem o conforto térmico do edifício. Os termogramas devem ser executados durante a realização do ensaio da porta ventiladora, de forma a identificar os locais precisos onde ocorrem perdas de energia. A figura 4.9 demonstra a parte prática do ensaio juntamente com os termogramas obtidos. De uma forma geral, através de ensaios já realizados verifica-se que os principais pontos de infiltração coincidem em caixilharias e caixas de estore.

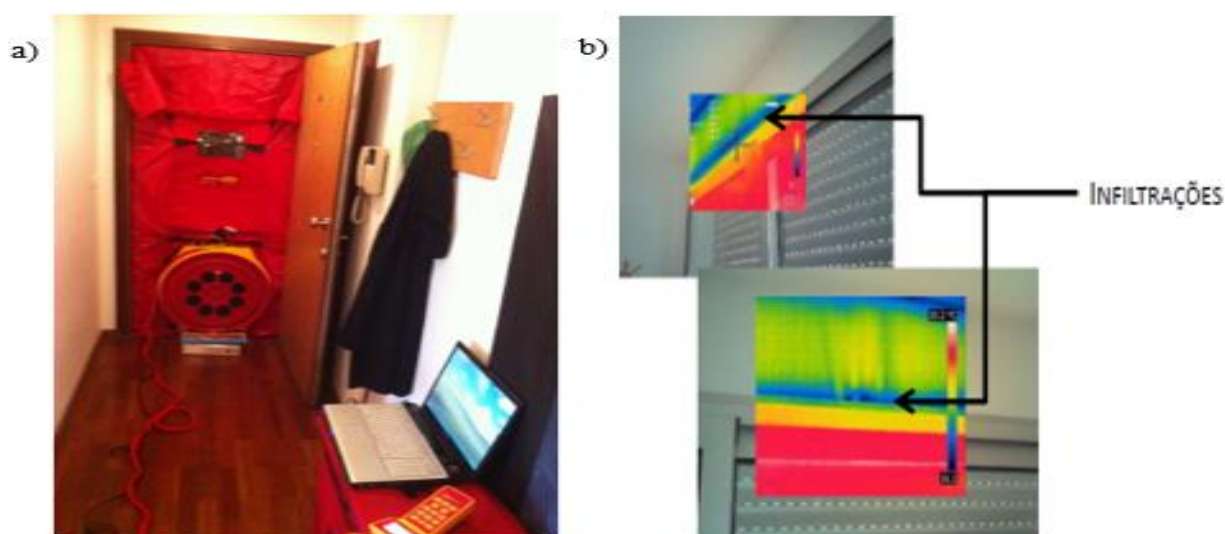


Figura 4.9- a) Equipamento de ensaio b) Auxílio da termografia infravermelha para deteção exata do local onde ocorre infiltração de ar (Gonçalves, M. 2015).

4.4. Considerações finais

Os exemplos demonstrados neste capítulo correspondem a termografia passiva, uma vez não ter existido qualquer tipo de intervenção térmica, os objetos foram analisados com as suas características normais de funcionamento. Optou-se por escolher este tipo de técnica termográfica devido à parte experimental desenvolvida nesta dissertação, presente no capítulo 5, servindo assim de introdução para uma melhor compreensão do mesmo.

Relativamente à pesquisa efetuada neste contexto, verificou-se que a utilização da termografia infravermelha para deteção de patologias não visíveis ao olho nu é a mais procurada, pois revela-se particularmente útil para os técnicos que as analisam e que estão encarregues da manutenção de edifícios. A análise do funcionamento térmico da envolvente de edifícios através do uso da termografia por infravermelhos também é vista com bastante utilidade, tentando obter-se uma perda desnecessária de energia do interior para o exterior, evitando a longo prazo consideráveis gastos monetários para a obtenção de conforto térmico.

5. ESTUDO EXPERIMENTAL REALIZADO

5.1. Nota introdutória

Neste capítulo apresenta-se o estudo experimental realizado, em que se analisou uma moradia unifamiliar com a técnica baseada na termografia, tendo como objetivo a deteção de patologias que possam estar ocultas. Como já foi referido anteriormente nesta dissertação, a termografia por infravermelhos inclui-se no grupo de ensaios não destrutivos realizado através de uma câmara termográfica, assim o fluxo de calor irradiado pela superfície da fachada facilmente será analisado. De forma a minimizar os possíveis erros durante a análise termográfica, foram realizados anteriormente ensaios aleatórios de forma a praticar e melhorar a capacidade de funcionamento com o aparelho.

O objetivo principal deste ensaio é verificar que através da termografia por infravermelhos, consegue-se recolher um número significativo de dados acerca do edifício em estudo, conseguindo posteriormente prevenir o aparecimento de anomalias para o mesmo. No caso destas se apresentarem num estado demasiado avançado, serão analisadas e mais tarde será executado um relatório de reabilitação, corrigindo assim as imperfeições existentes.

Relativamente ao ensaio, é de destacar que foi realizado no dia 18 de março de 2016, sem radiação solar incidente na moradia e com uma temperatura exterior durante a recolha dos termogramas na ordem dos 14 °C. Um higrómetro foi colocado no interior da moradia durante um período de cerca de 7 dias precedentes da realização do estudo experimental, de forma a poder obter um valor relativo da temperatura e humidade do ar interior, respetivamente e onde foram obtidos valores na ordem dos 17°C e 70% (durante o período em que foram recolhidas as imagens de termografia). Na figura 5.1 está presente o termohigrómetro usado na experiência.



Figura 5.1 - Termohigrómetro colocado no interior da moradia.

De acordo com os dados obtidos através da câmara termográfica, é de salientar que todas as imagens térmicas (termogramas) foram capturadas com um valor inicial de emissividade de 0.9 e apresentados com uma escala de temperaturas incorporada, fornecendo assim uma melhor perceção das imagens obtidas. Como já foi referido anteriormente, a maior parte dos materiais de construção apresentam uma emissividade na gama de 0.9 a 0.95, assim justifica o valor fixo escolhido. De acordo com a interpretação das cores encontradas nos termogramas, verifica-se normalmente que estas seguem o código representado na figura 5.2.



Figura 5.2 –Código de cores dos termogramas (Leila, abril de 2013)

5.2. Objeto de estudo

A moradia unifamiliar escolhida como objeto de estudo foi uma vivenda localizada em Coimbra, a escolha da mesma incidiu principalmente pela sua idade, pelo seu revestimento e pelo facto de as paredes interiores apresentarem alguns indícios patológicos facilmente identificados visualmente. Trata-se de um edifício alvo de reabilitação há cerca de 5 anos que possui três pisos incluindo já um piso parcialmente enterrado. Nesses mesmos pisos existem três quartos, uma sala de estar, quatro casas de banho em que uma está incluída num dos quartos, uma cozinha, uma sala de arrumações e a sala das máquinas.



Figura 5.3- Vista geral do edifício unifamiliar

5.3. Soluções construtivas

Na figura 5.3 é visível a presença de duas moradias geminadas, em que uma delas (a que será alvo de estudo, foi sujeita a reabilitação, que consistiu no aproveitamento de algumas paredes estruturais como complemento de construção nova, de salientar que todas as paredes são simples. A cobertura está dividida em duas partes, uma consiste na cobertura tradicional em telha cerâmica com a presença de isolamento sob a telha e o restante complementado com cobertura invertida inclinada. As paredes exteriores, apresentam um sistema de isolamento pelo exterior, ETICS, tanto nas paredes novas de 20cm como nas paredes de maior espessura. Uma vez que a vivenda em estudo apresenta um isolamento térmico pelo exterior, ETICS, irá fazer-se uma breve descrição desse mesmo sistema de forma a perceber como este se comporta em relação às trocas de fluxo de calor através da envolvente, facilitando mais tarde a compreensão dos termogramas relativos à moradia unifamiliar.

- *Revestimento ETICS*

Em Portugal, nas últimas duas décadas o isolamento térmico pelo exterior das fachadas dos edifícios implementou-se de uma forma gradual, tanto na construção nova como na reabilitação.

O sistema ETICS consiste na colagem de placas de isolamento térmico, que no presente caso de estudo correspondeu a poliestireno expandido, à face exterior das paredes de fachada, com uma argamassa específica para o efeito, podendo a cola ser aplicada sobre as placas de uma forma integral ou por pontos. Sobre as placas de isolamento, é aplicado em várias camadas um reboco delgado, com argamassa semelhante à de colagem, com 3 a 5 mm de espessura, e armado com uma ou várias redes de fibra de vidro com tratamento antialcalino. Para o acabamento final é utilizado, geralmente, um revestimento plástico espesso, aplicado a talocha (Oliveira, J. 2011). A figura 5.4 apresenta esquematizado o sistema ETICS.

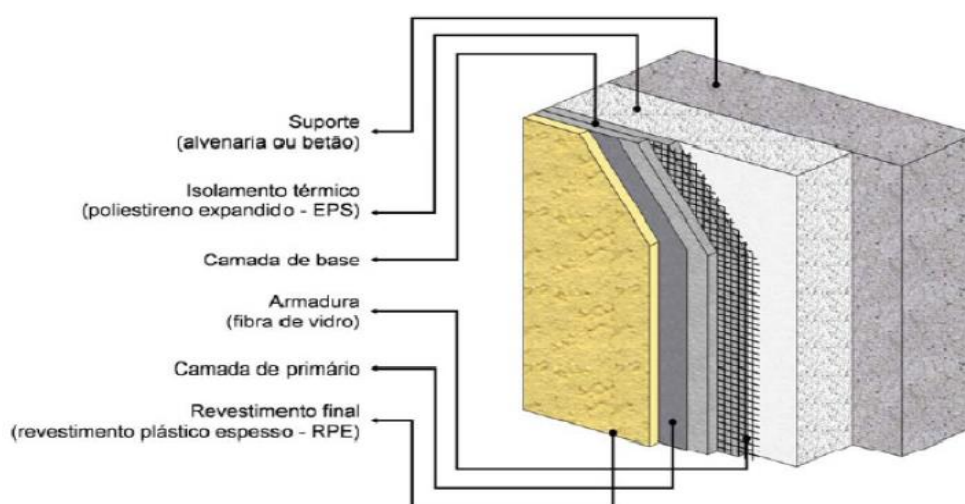


Figura 5.4 – Composição esquemática do sistema ETICS (Oliveira, J. 2011).

- *Principais vantagens do ETICS*

Abordam-se aqui as vantagens do sistema ETICS em geral, uma vez que a moradia escolhida para análise termográfica foi submetida a reabilitação utilizando esta solução.

Isolamento térmico

A aplicação do sistema ETICS provoca um aumento significativo da resistência térmica da parede, conseqüentemente a diminuição do seu coeficiente de transmissão térmica “U”. Este sistema, assim como outros sistemas de isolamento, garante quase em toda a totalidade o isolamento térmico da parede, oferecendo uma maior liberdade na escolha da solução construtiva de suporte e nos revestimentos, de forma a garantir as exigências funcionais a que o edifício se propõe.

Inércia térmica

À semelhança de todos os isolamentos térmicos pelo exterior, o sistema ETICS apresenta uma importância acentuada para a inércia térmica dos edifícios. Esse mesmo isolamento está preparado de forma a cumprir as suas exigências consoante as diferentes estações do ano.

Na estação mais fria do ano, inverno, em climas temperados como é o caso de Portugal, localização da vivenda em estudo, é importante usufruir dos ganhos solares nos quadrantes Sul. A energia solar, aquece o ar interior e os elementos construtivos através dos envidraçados. Uma vez que a capacidade de armazenamento de calor pelo ar é bastante reduzida, é de extrema importância tirar o máximo proveito do armazenamento de calor proveniente dos elementos construtivos, principalmente nas paredes e pavimentos. Esse aproveitamento deve ser efetuado no período noturno e em dias marcados pela ausência de sol, desta forma o isolamento pelo exterior surge como determinante, formando uma barreira exterior para evitar a perda de fluxo de calor para o exterior.

Relativamente à estação mais quente do ano, verão, o sistema de gestão de energia é completamente diferente comparativamente com a estação mais fria, mas não menos importante. Com o decorrer do dia, a temperatura aumenta e a radiação solar incide sobre as paredes exteriores, onde essas mesmo irão armazenar calor, evitando um aumento do fluxo de calor para o interior do edifício. Olha-se para as paredes exteriores como retardadores do fluxo de calor, transferindo-o somente quando a temperatura exterior começar a diminuir (início da noite), altura em que será possível usar a ventilação dos espaços interiores, levando a um arrefecimento do ar e das próprias paredes. Este processo torna-se cíclico de dia para dia, durante a estação mais quente.

Correção das pontes térmicas

Como já foi abordado anteriormente nesta dissertação, as pontes térmicas localizam-se principalmente em zonas estruturais do edifício, uma vez que ocorre uma grande variação dos diferentes materiais de construção utilizados, um exemplo dessa situação é o contacto do betão com os panos de alvenaria.

Com a utilização de um isolamento térmico pelo exterior, neste caso ETICS, provoca um abrandamento da diferença de resistência térmica, resultante da contribuição do isolante que se impõe às restantes parcelas.

Admita-se, a título de exemplo, uma parede de alvenaria com $U=1,25 \text{ W/m}^2\text{°C}$, pontuando por elementos estruturais de betão com $U=2.50 \text{ W/m}^2\text{°C}$, ou seja, onde a perda de calor é o dobro. Se introduzirmos um isolamento pelo exterior contínuo com cerca de 5-6 cm, a parede passará a apresentar um $U=0.45 \text{ W/m}^2\text{°C}$ e a zona da estrutura, um $U=0.55 \text{ W/m}^2\text{°C}$ (Silva, J. A. 2010).

Proteção contra a água das chuvas

De acordo com o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), os revestimentos exteriores de paredes podem ser considerados de dois tipos, “estanquidade” ou de “impermeabilização”. O sistema ETICS é considerado de “estanquidade”, uma vez que o seu revestimento delgado armado assim o impõe, caso assim não fosse, o poliestireno expandido que pertence à composição do sistema, ficaria completamente saturado, devido á sua grande capacidade de absorção de líquidos. Este sistema, quando bem utilizado, dificilmente terá a ocorrência de fissuras, o que impedirá a entrada de água.

Diminuição das condensações superficiais

No segundo capítulo desta dissertação, as patologias referentes a condensações foram vistas ao pormenor, analisando-se agora o que mudaria com a implementação no projeto de construção de isolamento térmico pelo exterior, ETICS.

Os sistemas de isolamento, quer sejam exteriores ou interiores, apresentam grande contribuição para a diminuição do risco de condensações. O ETICS, diferencia-se de todos os restantes isolamentos pelo facto de apresentar um sistema contínuo, ou seja, protege as zonas mais críticas, as chamadas pontes térmicas, algo que os sistemas descontínuos não conseguem aceder.

- *Principais limitações do ETICS*

De uma forma resumida, as principais limitações referentes ao sistema de isolamento pelo exterior podem ser clarificadas nos seguintes tópicos:

- Necessidade de uma mão de obra especializada;
- Dificuldade de resistência a solicitações mecânicas extremas, tais como impactos fortes e perfurações;
- Reação elevada ao fogo;

5.4. Resultados

De forma a facilitar a apresentação e compreensão dos dados recolhidos na moradia, optou-se por apresentar as plantas dos pisos, pertencendo a cada divisão uma designação numérica, como pode ser visível na figura 5.5, a zona colorida a vermelho realça a ligação com a moradia geminada.

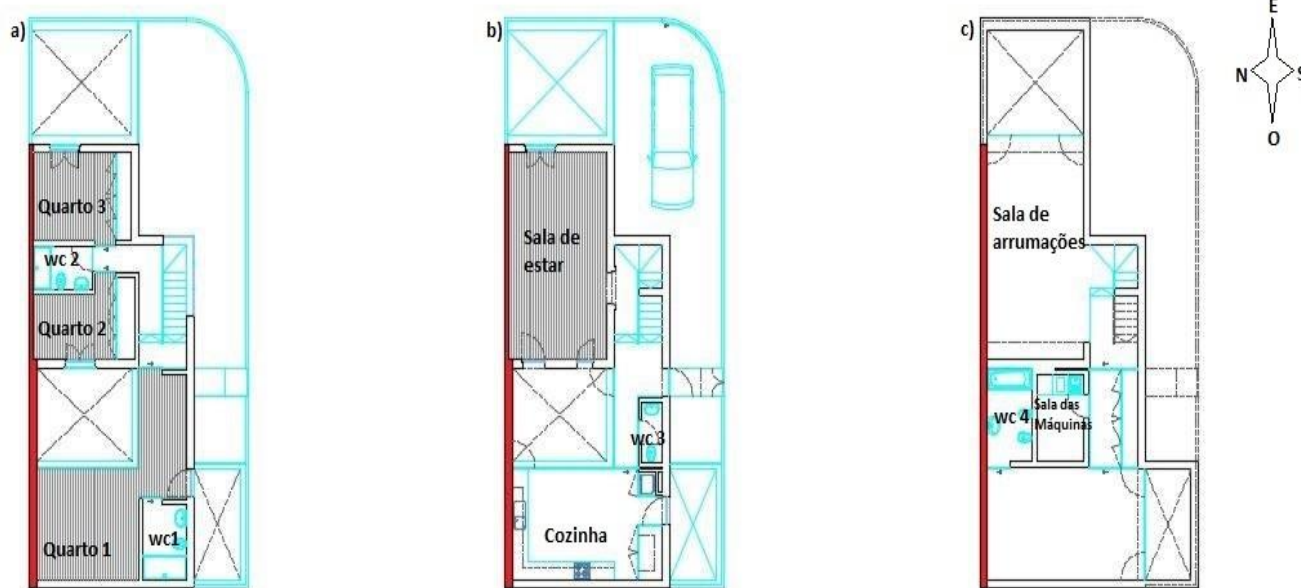


Figura 5.5 – Plantas dos pisos da moradia unifamiliar em estudo: a) Piso 1b) Piso 0 c) Piso -1.

5.4.1. Interior do edifício

5.4.1.1. Medições e observações efetuadas no Quarto 1

Durante a inspeção visual no quarto 1, foi identificada uma mancha vertical com coloração ligeira, localizada na face interior da parede exterior orientada a Sul. Quando confrontada com a análise térmica, confirmou-se naquela zona a existência de temperaturas superficiais inferiores à restante parede, indicativas da existência de um tubo de queda de águas pluviais. Este elemento, que muito provavelmente não terá sido isolado termicamente estará a provocar no paramento interior da parede de fachada o aparecimento de manchas de cor mais escura, como se pode verificar na Figura 5.6. Estamos assim perante um arrefecimento superficial que apresenta como consequência a condensação já referida, afetando a degradação do aspeto e das condições de conforto e salubridade. Caso não seja tratada de imediato, ocorrerá uma degradação progressiva do reboco.

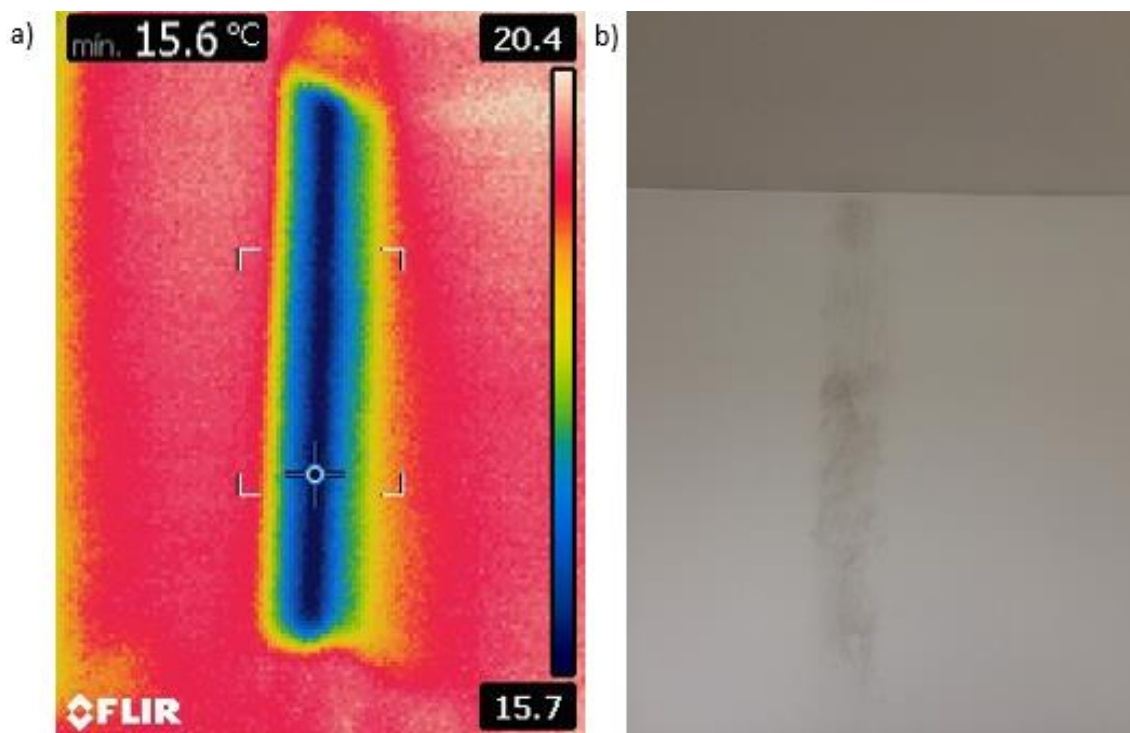


Figura 5.6 – a) Localização de humidade através da imagem térmica b) Imagem digital com condensação superficial no paramento interior da fachada sul.

5.4.1.2. Medições e observações efetuadas no Quarto 2

No quarto 2 procurou-se obter um resultado nos termogramas de forma a evidenciar a presença de fungos e bolores na parte superior da janela e também no cunhal de ligação entre as paredes verticais e o teto. Este aparecimento ocorre sobretudo em paredes exteriores de quartos com fraca insolação. Os fenómenos de condensação superficial interior têm o inverno como a estação predileta para se manifestarem, e estão relacionados com a reduzida resistência térmica da envolvente exterior, reduzida renovação de ar dos compartimentos e ainda relacionado com carência de aquecimento. Este fenómeno traduz-se na degradação do aspeto, das condições de conformidade e salubridade dos revestimentos. No caso de estudo, a sua origem estará sobretudo associada à reduzida renovação do ar, já que atualmente a caixilharia existente apresenta reduzida permeabilidade ao ar e não existem grelhas de ventilação nos compartimentos principais. Nos registos foi possível observar as perdas térmicas já esperadas, encontrando-se zonas com temperaturas mais baixas coincidentes com as zonas onde as condensações superficiais eram evidentes. No caso do cunhal saliente, conduzem como já foi dito, a uma perda de energia para o exterior e conseqüente redução da temperatura superficial interior, como se pode verificar nas Figura 5.7 e 5.8.

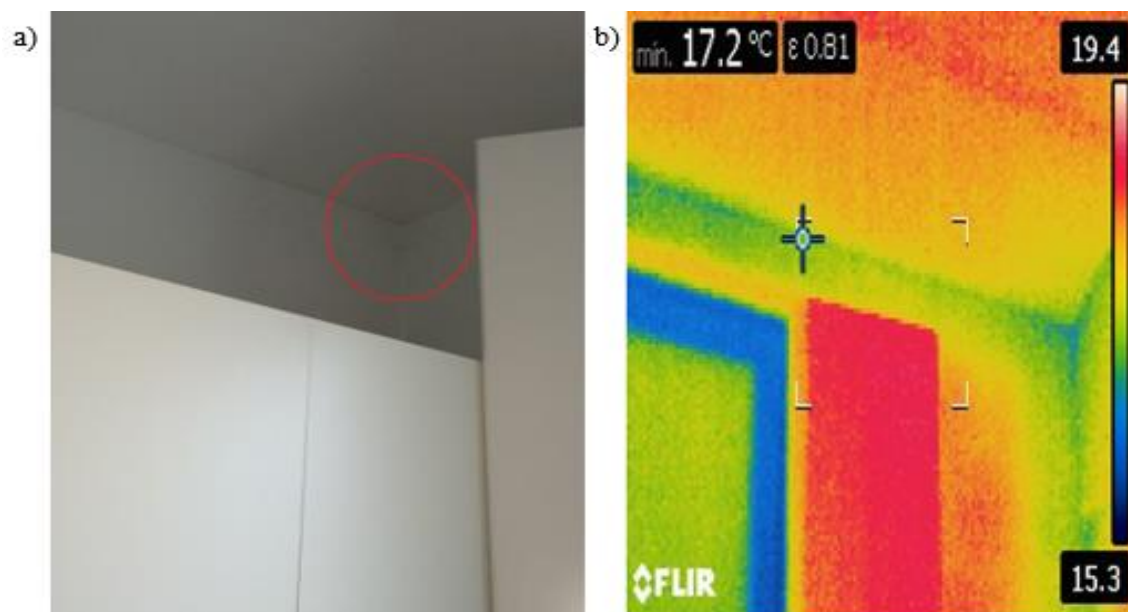


Figura 5.7 – a) Imagem digital do cunhal reentrante com presença de fungos e bolores b) Imagem termográfica com localização de ponte térmica.

Perante a ocorrência destes fenómenos, a sua reabilitação passa pela limpeza dos revestimentos com produto esterilizante e mais tarde produto neutro e sua secagem, de forma a poder acontecer a sua reparação e pintura. Muito importante será a criação de hábitos de ventilação transversal da habitação ou criar aberturas de ventilação, assim como uma produção de vapor de água controlada podem evitar no futuro, o aparecimento de condensações superficiais.

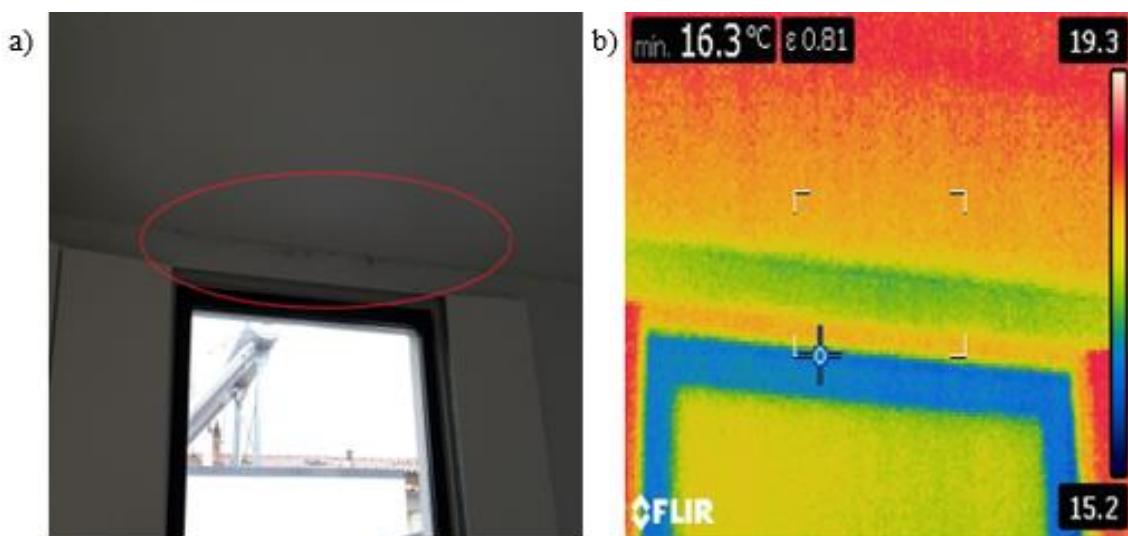


Figura 5.8 – a) Imagem digital evidenciando manchas de humidade na parte superior da janela b) Imagem termográfica com perdas térmicas na parte superior da janela.

5.4.1.3. Medições e observações efetuadas no Quarto 3

Das observações efetuadas no quarto 3, rapidamente verificam-se as semelhanças com o quarto anteriormente analisado, o quarto 2. As manchas de fungos e bolores apresentam a mesma localização construtiva e conseqüentemente estão associadas às mesmas origens patológicas. De salientar que as medidas de reabilitação aconselháveis, são exatamente as mesmas que para o quarto 2. As figuras 5.9 e 5.10 mostram através de termogramas as pontes térmicas encontradas no cunhal e na padieira da janela.

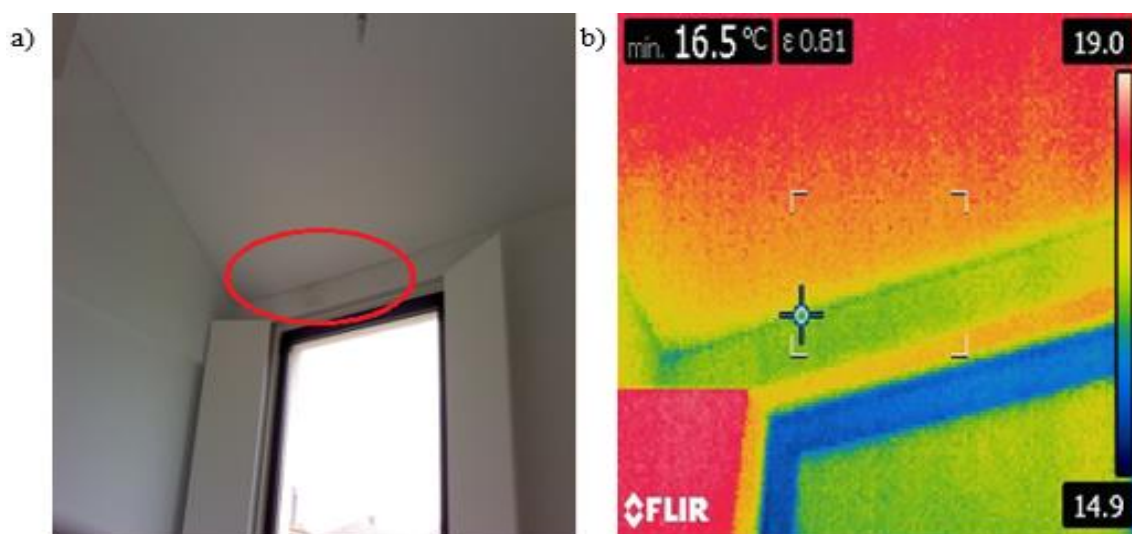


Figura 5.9 - a) Imagem digital evidenciando manchas de humidade na parte superior da janela
 b) Imagem termográfica com perdas térmicas na parte superior da janela.

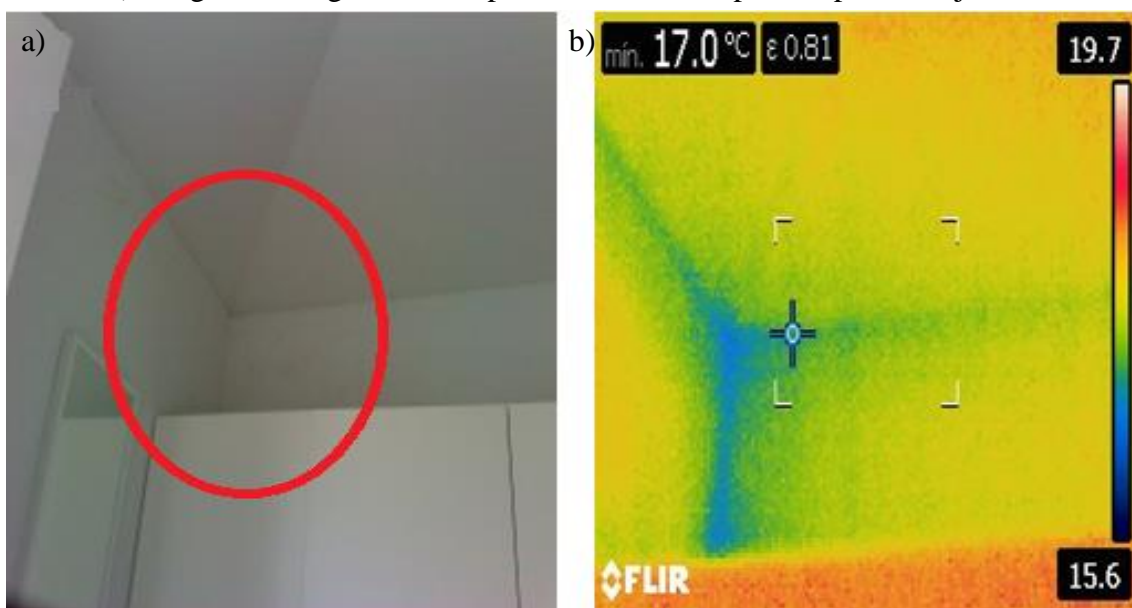


Figura 5.10 - a) Imagem digital do cunhal reentrante com presença de fungos e bolores b)
 Imagem termográfica com localização de ponte térmica.

5.4.1.4. Medições e observações efetuadas na sala de arrumações

Nesta divisão, é visualmente detetável a presença de manchas com alguma coloração na padieira da janela, tal como já se tinha verificado nos quartos da moradia. No termograma, é perceptível a ocorrência de temperaturas mais baixas na zona da padieira, em relação à alvenaria envolvente. O fenómeno de condensação superficial nesta divisão deve-se ao facto de ocorrer um excesso de vapor da água provocado pela realização de tarefas domésticas na mesma, como por exemplo engomar a roupa. Juntamente ao excesso de produção de vapor de água, tem-se uma deficiente taxa de renovação de ar, como acontece em toda a moradia. Na figura 5.11, é possível verificar na imagem digital o aparecimento de uma coloração ligeira na padieira da janela e no termograma é visível a ponte térmica nessa zona.

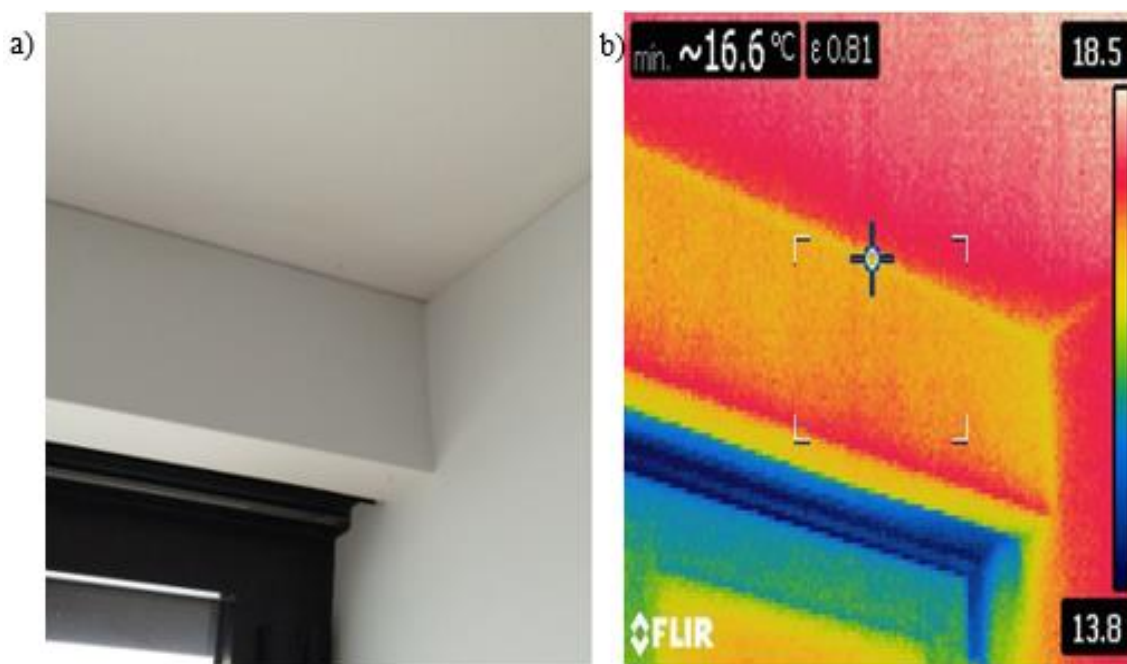


Figura 5.11 - a) Imagem digital da padieira da janela com o aparecimento de coloração ligeira
b) Imagem termográfica com localização de ponte térmica.

5.4.2. Exterior do edifício

5.4.2.1. Medições e observações efetuadas no pátio interior descoberto

No interior da moradia existe um pequeno pátio interior, quando confrontado com a técnica de termografia infravermelha foi detetada uma ponte térmica pontual. Esta provavelmente ocorre ao nível da fixação das placas de isolamento térmico, onde a maior condutibilidade térmica do parafuso utilizado em relação à sua envolvente provoca a ponte térmica demonstrada na

Figura 5.12. Esta situação, pode atrair consequências ao nível de anomalias relacionadas com o agravamento do risco de condensações superficiais internas, desenvolvimento de bolores, degradação do revestimento e o acréscimo de perda térmica. É também de salientar na mesma imagem o cunhal reentrante como zona de ponte térmica, muito provavelmente devido a uma deficiente colocação do isolamento nessa mesma zona.

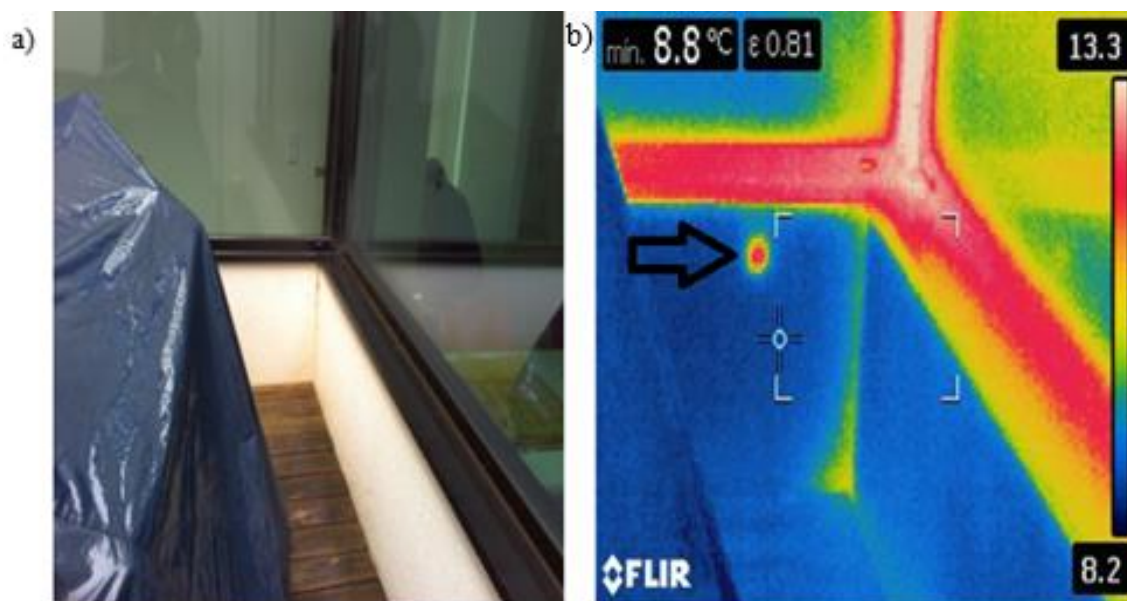


Figura 5.12 - a) Imagem digital do isolamento pelo exterior b) Imagem termográfica com localização de ponte térmica pontual.

A figura 5.13 mostra, através do termograma, uma variação de temperaturas dos diferentes materiais envolvidos. A temperatura superior corresponde à caixilharia da janela, que no termograma apresenta uma cor avermelhada. A restante parede de alvenaria revestida com isolamento pelo exterior apresenta uma cor homogénea por toda a sua área, indicando o seu bom funcionamento.

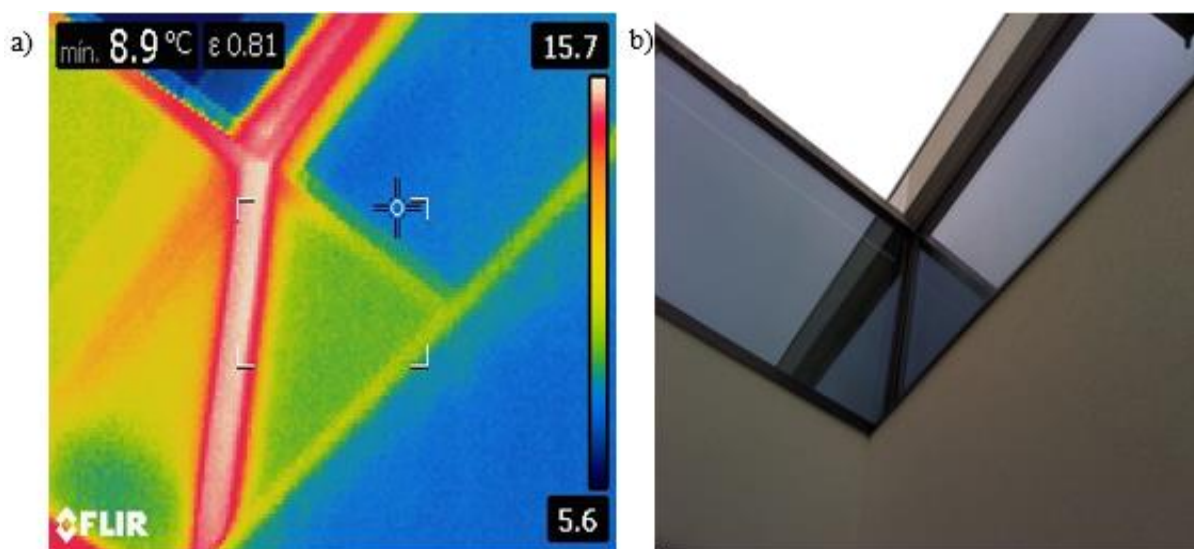


Figura 5.13 – a) Imagem termográfica de uma janela em cumhal b) Imagem digital de uma janela em cumhal.

A figura 5.14 apresenta um cumhal reentrante exterior com indícios de ponte térmica. Esta situação pode estar relacionada com uma falta de homogeneidade ao longo de toda a envolvente, neste caso a junção no cumhal. As pontes térmicas, resultam em taxas de perdas de calor induzidas mais altas, acusam temperaturas superficiais interiores mais baixas comparativamente com as zonas correntes, ocorrendo heterogeneidades na distribuição das temperaturas dos elementos, levando a um aumento do risco de condensações e consequente aparecimento de patologias construtivas e funcionais.

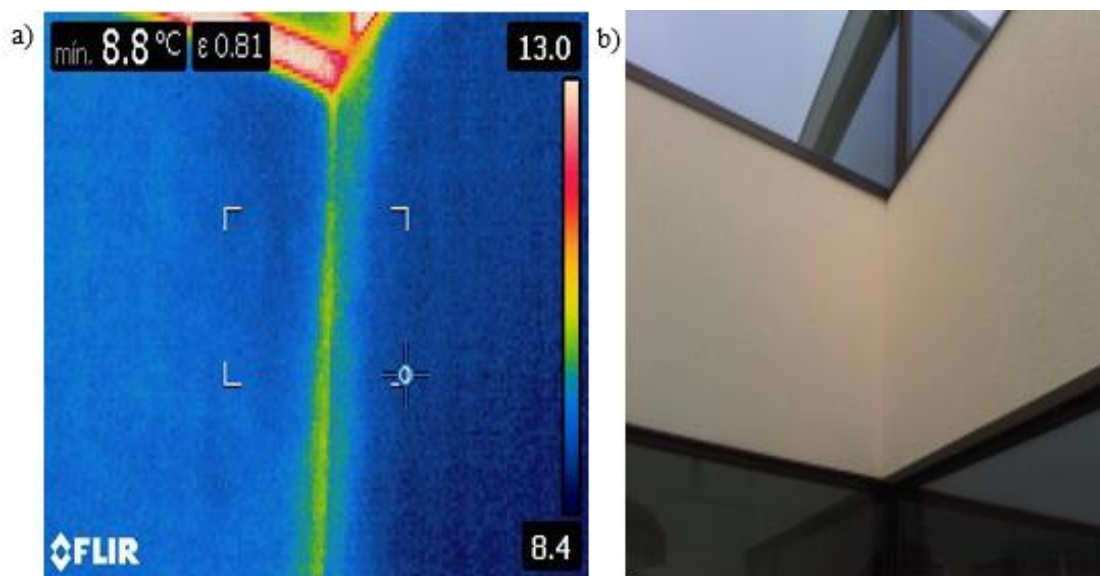


Figura 5.14 – a) Imagem térmica de um cumhal reentrante com indícios de ponte térmica b) Imagem digital de cumhal reentrante.

5.4.2.2. Medições e observações efetuadas na fachada orientada a sul

Na fachada orientada a sul está enquadrada a porta principal de entrada e um vão envidraçado, este ultimo apresenta grande contribuição em termos de ganhos solares para a moradia na estação mais fria, aumentando assim a temperatura ambiente interior, das paredes interiores e pavimentos. Na figura 5.15 é possível verificar o vão envidraçado e a sua envolvente. É perceptível que a caixilharia do vão apresenta uma temperatura superior em relação à restante fachada, devido ao seu material apresentar uma maior emissividade. De salientar também nesta fachada, o bom funcionamento do sistema de isolamento pelo exterior, mantendo toda a fachada com a mesma temperatura, não havendo indícios de anomalias ou pontes térmicas. No fundo do vão envidraçado aparecem algumas escorrências relacionada com águas pluviais, em nada relacionadas com anomalias para o edifício.

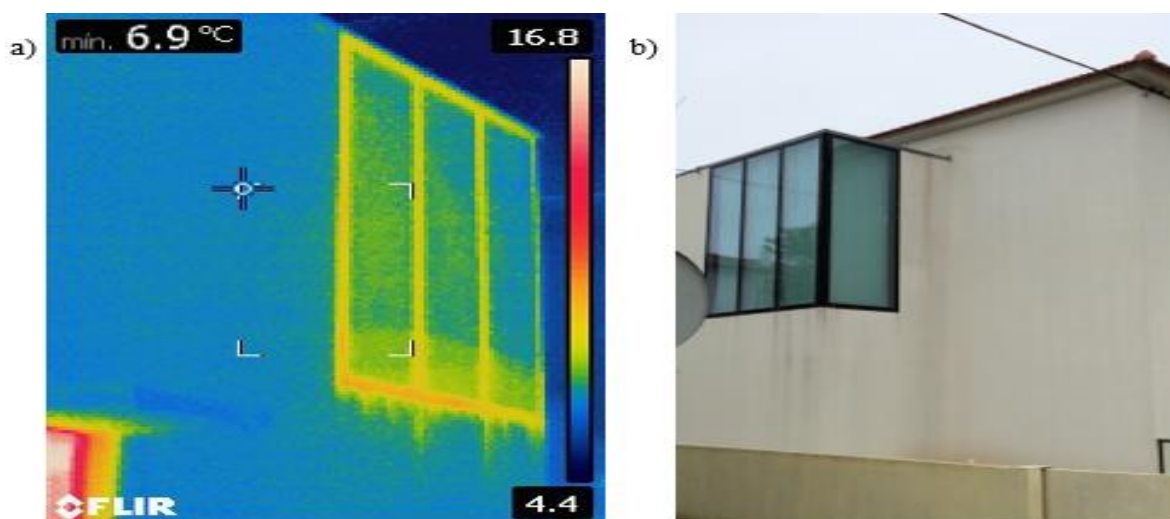


Figura 5.15 – a) Termograma do envidraçado da fachada orientada a sul b) Imagem digital da fachada orientada a sul.

5.4.2.3. Medições e observações efetuadas na fachada orientada a Oeste

Como já foi referido anteriormente na presente dissertação, um dos objetivos da termografia na avaliação de edifícios está relacionada com o desempenho térmico da geral envolvente. Na fachada orientada a oeste é possível verificar uma correta colocação do isolamento térmico, a fachada apresenta uma cor aproximada em toda a área, ou seja, temperatura idêntica. Uma colocação correta do isolamento térmico, mantendo as suas funcionalidades a longo prazo torna-se de extrema importância para o bom funcionamento do edifício

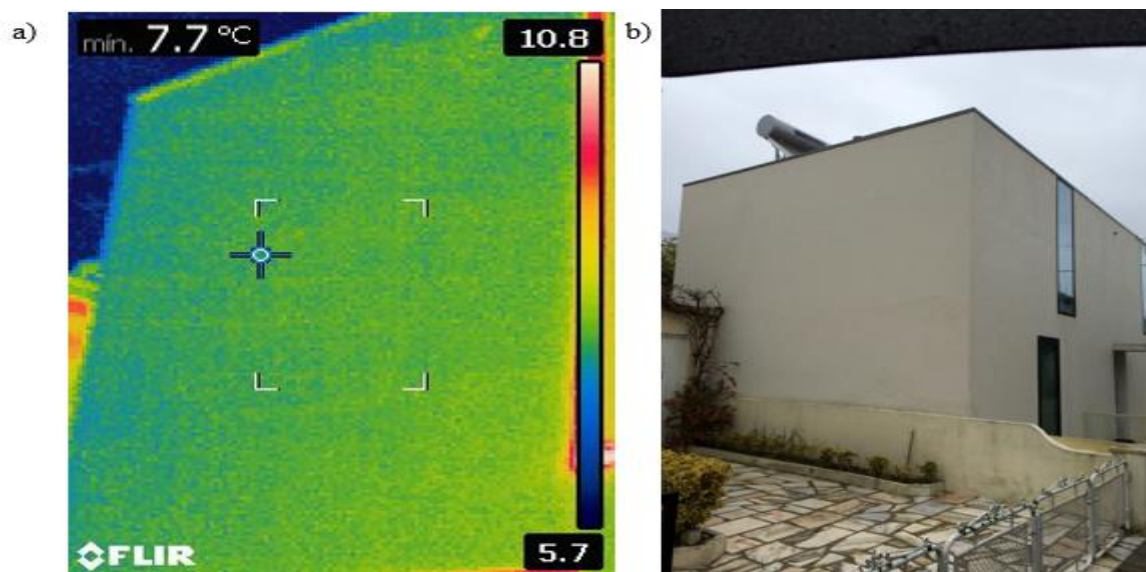


Figura 5.16 – a) imagem digital da fachada Oeste b) Deteção de elementos estruturais do edifício através da termografia por infravermelhos.

5.4.2.4. Medições e observações efetuadas na fachada orientada a Este

Na fachada orientada a sul efetuou-se uma análise comparativa das duas vivendas geminadas. Como já foi dito anteriormente, a vivenda em estudo é portadora de revestimento pelo exterior e a vivenda geminada não foi reabilitada, pelo que não apresenta qualquer tipo de isolamento térmico. Rapidamente foram identificadas as diferenças de funcionamento da envolvente através das imagens de infravermelhos. A fachada sem isolamento apresenta uma temperatura mais elevada para com o exterior, significando que o fluxo de calor é bastante significativo, ocorrendo perdas de calor no interior que provocam um desconforto dos utentes do mesmo. Assim as vantagens enumeradas anteriormente nesta dissertação sobre o isolamento pelo exterior, são comprovadas pelo termograma da figura 5.17. A moradia em estudo, com a presença do sistema ETICS apresenta um aumento bastante significativo da resistência térmica das suas paredes, evitando assim as trocas de calor entre o interior e o exterior. A moradia geminada, uma vez que não possui isolamento térmico leva a uma baixa resistência térmica das suas paredes, significando trocas de calor do interior para o exterior e temperaturas superficiais mais elevadas.

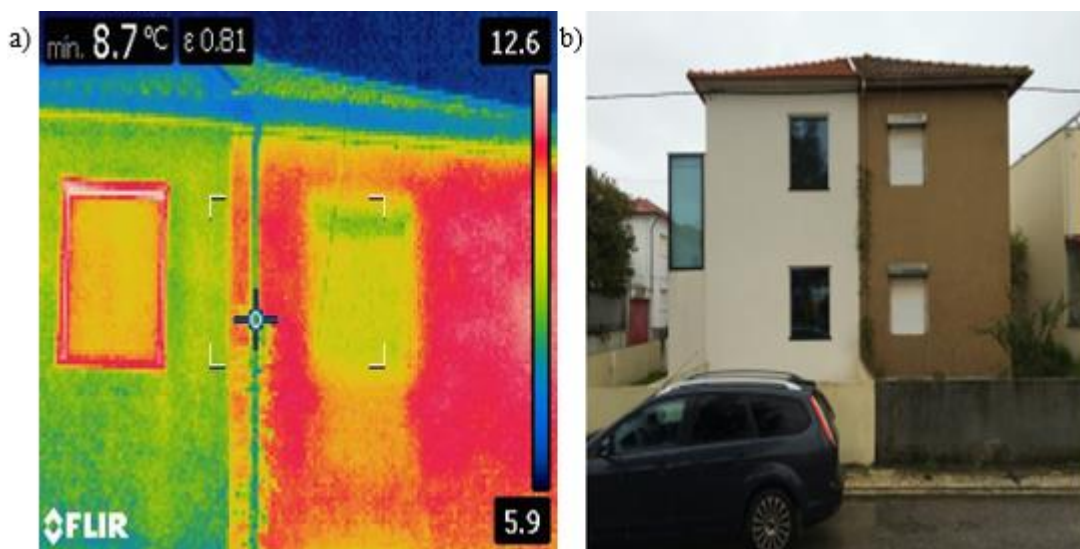


Figura 5.17 – Comparação entre a moradia a) com isolamento pelo exterior b) sem isolamento através da termografia por infravermelhos.

No termograma da figura 5.18 verifica-se à partida um bom funcionamento do isolamento térmico pelo exterior. Ocorre uma pequena variação de temperatura na fachada devido a algumas escorrências de água pluviais pelo revestimento, o que é normal devido à ocorrência de chuvas algum tempo antes da realização da obtenção dos termogramas.

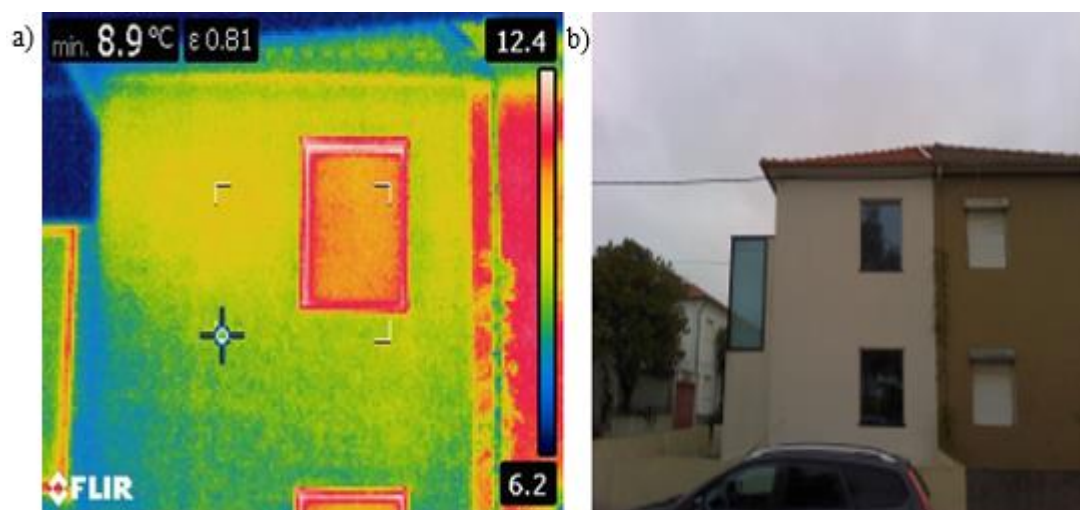


Figura 5.18 - a) Imagem térmica da fachada orientada a este b) imagem digital da fachada orientada a este.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. Conclusões

Em relação ao desempenho construtivo e térmico dos edifícios, a termografia por infravermelhos apresenta inúmeras vantagens, conseguindo num curto período de tempo realizar a inspeção de áreas e consequentemente obtenção de patologias implementadas nessas mesmas. Esta técnica permite a identificação de diferentes tipos de anomalias, uma vez detetadas numa fase embrionária, podem evitar prejuízos para o edifício. Desta forma, nos processos de conservação e reabilitação de edifícios, a aplicação da termografia pode evitar a utilização de métodos de análise destrutivos, longos e incertos.

Os utentes apresentam algumas prioridades em relação às características dos edifícios. O conforto térmico aparece como uma das mais valorizadas, desta forma as técnicas construtivas e os materiais de construção apresentam-se como peças fundamentais para a obtenção de um ótimo conforto térmico, evitando perdas de calor desnecessárias. Assim, a termografia por infravermelhos apresenta-se bastante útil na avaliação prévia relativa ao conforto oferecido pelos materiais de construção, levando os construtores e utentes à escolha de melhores soluções na aplicação em edifícios. Em contrapartida, o uso da termografia por infravermelhos implica conhecimentos científicos e técnicas que muitas vezes não são dominadas pelos utilizadores dos equipamentos, podendo provocar análises erradas e consequentemente falsos diagnósticos. Outras limitações consistem no preço elevado dos equipamentos de medição, exigindo um grande investimento inicial para o uso da técnica e ainda condições climatéricas favoráveis para a prática termográfica (variação de temperatura do exterior para o interior na ordem dos 10-15°C).

A parte experimental da presente dissertação, focou-se na recolha de termogramas relativos a uma moradia unifamiliar. Este ensaio foi realizado em março, com o intuito de obter um gradiente de temperatura entre o exterior e o interior na ordem dos 10-15°C, o recomendado para ensaios termográficos (não foi possível atingir o desejado diferencial durante a análise termográfica). A realização do mesmo consistiu em termografia passiva, uma vez não ter existido qualquer tipo de intervenção térmica, o objeto foi analisado com as suas características normais de funcionamento. A repetição do ensaio termográfico após um longo período, teria sido interessante para analisar a forma como as anomalias encontradas se desenvolveram, de forma a verificar uma comparação temporal para o desenvolvimento das

mesmas. No entanto, devido a condições climatéricas exigidas para uma análise correta dos termogramas, não foi possível voltar a efetuar o ensaio.

Relativamente às patologias encontradas na moradia, em grande parte estão relacionadas com a falta de ventilação no interior do edifício. Juntamente com esta ausência, verificou-se também que na utilização corrente das habitações são produzidos agentes poluentes que devem ser retirados da habitação de forma a promover um ambiente adequado á permanência dos ocupantes. Atividades como preparação de alimentos, lavagem e secagem de loiça e roupa devem estar acompanhados de uma ventilação correta, permitindo aos seus ocupantes ter um ambiente interior saudável e adequado às suas necessidades. Desta forma os problemas encontrados devido a deficiência de ventilação resultaram num aumento da frequência de condensações, conduzindo ao aparecimento de fungos e/ou bolores. Esta situação é característica de novos edifícios, em que por força da garantia de bom desempenho térmico, adotam-se soluções construtivas conducentes a baixas renovações de ar.

Através dos termogramas obtidos, foi possível verificar a concordância entre as áreas que evidenciavam visualmente manifestações patológicas e as áreas onde ocorrem manifestações patológicas identificadas pela diferença de emissão de radiação pela termografia infravermelha. Assim, em todas as áreas que continham a presença de manifestações patológicas observadas neste trabalho, ocorreu emissão de radiação da sua parte e obtiveram-se temperaturas diferenciadas em relação a áreas intactas de qualquer tipo de patologia.

No exterior do edifício, o ensaio foi bastante útil para a compreensão e confirmação da importância do isolamento térmico e revestimentos exteriores para uma melhoria da qualidade térmica da envolvente e conseqüentemente do interior do edifício. De acordo com os resultados obtidos nesta dissertação e pela experiência adquirida na pesquisa efetuada, conclui-se que a termografia infravermelha pode apresentar-se como uma opção de grande potencial em serviços de inspeção, avaliação e diagnóstico de patologias em revestimentos, principalmente nas fachadas de edifícios. Na eventualidade de proporcionar uma melhor compreensão de eventuais fenómenos e ocorrências nas várias partes construtivas dos edifícios, sendo estas ligadas a fenómenos térmicos e higroscópicos, a termografia apresenta-se como uma técnica muito útil na especificação de materiais e componentes voltados para isolamentos térmicos e revestimentos exteriores.

6.2. Desenvolvimentos futuros

Seria interessante no futuro voltar a realizar exatamente o mesmo estudo experimental, de forma a verificar como as patologias encontradas nesta dissertação foram evoluindo com o tempo, isto só seria possível se as mesmas não forem reabilitadas. Ainda relativamente a esta ideia, a forma e rapidez com que o ETICS vai envelhecendo e se deteriorando com o tempo, piorando a função de cumprir as funções para o qual foi projetado, seria também bastante interessante de analisar.

Em possíveis trabalhos futuros realizados nesta área, a obtenção de ensaios termográficos em diferentes períodos do dia e com variação das condições atmosféricas seria relevante. Assim como a comparação de diversos edifícios, variando as datas de construção, o seu isolamento térmico e revestimento, de forma a perceber a influência dos mesmos no envelhecimento do edifício e no seu desempenho térmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asdrubali, F., Baldinelli, G., & Bianchi, F. (2012). A quantitative methodology to evaluate thermal bridges in buildings. *Applied Energy*, 365-373.
- Barreira, E. S. (2004). *Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos edifícios*. Porto: Universidade do Porto.
- Barreira, E., & Freitas, V. P. (2007). Evaluation of building materials using infrared thermography. Em *Construction and Building Materials* (pp. 218-224). Porto: Elsevier.
- DECRETO-LEI nº 28/2016 - *Sistema de Certificação Nacional (SCE), Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)*.
- EN ISO 10211: 2007 - Thermal bridges in building construction -- Heat flows and surface temperatures -- Detailed calculations.
- FLIR. (2010). *Manual do utilizador*. Lisboa: FLIR systems.
- Garcia, J. R. (2014). *Potencialidades da termografia para o diagnóstico de patologias em edifícios*. Porto: Faculdade de engenharia da universidade do Porto.
- Gaussorgues, G. (1999). *La thermographie infrarouge*. Rue Lavoisier, Paris, French: TEC & DOC.
- Gonçalves, M. (2015). *Técnicas de Inspeção e Avaliação do Desempenho de Edifícios*. Coimbra: ITECONS.
- Guimarães, A. S. (2013). *Humidade em edifícios*. Porto: Faculdade de engenharia da Universidade do Porto.
- Instituto Nacional de Estatística. (2014). *Estatísticas da Construção e Habitação*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
-

-
- ITeCons. (2014). *Catálogo online de pontes térmicas lineares*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Leila. (Abri de 2013). *Termografia*. Obtido de Univeridade federal Rio Grande do Sul: <http://www.if.ufrgs.br/~leila/grafia.htm>
- Marques, D. F. (2014). *Avaliação da qualidade térmica da envolvente de edifícios - Estudo de caso através da análise numérica e por termografia infravermelha*. Lisboa: Universidade nova de Lisboa.
- Matos, C. H. (2013). *Aplicação do Ensaio de Porta Ventiladora ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Porto: Instituto superio de engenharia do Porto.
- Mendonça, L. V. (2006). Engenharia preventiva. Inspeção periodica de Edifícios. *Jornal da Madeira*.
- Mendonça, L. V. (2008). Termografia por infravermelhos. Aplicações em Edifícios. *Revista Engenharia & Vida*.
- Mendonça, L. V., Amaral, M. M., & Catarino, P. S. (2012). *A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxilio à inspeção e manutenção dos edifícios*. SPY Building.
- Meola, C. (2012). *Infrared Thermography Recent Advances and Future Trends*. Italy: University of Naples Federico II.
- Oliveira, G. F. (2013). *Potencialidades da termografia para o diagnóstico de patologias associadas á humidade*. Porto: Universidade do Porto.
- Oliveira, J. (2011). *Metodologia de análise da patologia de fachadas de edifícios recentes com sistema ETICS*. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Santos, M. d. (2014). *Uso da termografia para caracterizar qualitativamente fachadas de edifícios*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Silva, J. A. (2010). *Humidade na construção*. Coimbra: Coordenação Editorial de José António Raimundo Mendes da Silva.
-

- Silva, J. A. (2010). *Isolamento térmico exterior de fachadas (sistema ETICS)*. Coimbra: Coordenação Editorial de José António Raimundo Mendes da Silva.
- Silva, J. C. (2012). *Reabilitação térmica de edifícios residenciais: Proposta de reabilitação*. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Simoës, i. (2010). Técnicas de inspeção e avaliação do desempenho de edifícios. *Reabilitação energeticamente eficiente de edifícios urbanos*. Coimbra.
- Simões, M. I. (2012). *Desenvolvimento de modelos numéricos e aplicação da termografia na deteção e caracterização de defeitos em elementos de construção*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Sousa, L. (2010). *Aplicação da termografia no estudo do comportamento termico dos edifícios*. Aveiro: Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Aveiro.
- Valério, J. G. (2007). *Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.