



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS
Núcleo de Revestimentos e Isolamentos

Proc. 0803/14/15139

ANÁLISE TERMOGRÁFICA PARA VISUALIZAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA SALINA E DA SECAGEM DE UM MURETE DE ALVENARIA DE PEDRA

Ensaio de Capilaridade

(Projecto FCT n.º POCTI/ECM/46323/2002)

Lisboa • Julho de 2007

I&D EDIFÍCIOS

RELATÓRIO 241/2007 – NRI

ANÁLISE TERMOGRÁFICA PARA VISUALIZAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA SALINA E DA SECAGEM DE UM MURETE DE ALVENARIA DE PEDRA

- ENSAIO DE CAPILARIDADE -

(PROJECTO FCT n.º POCTI/ECM/46323/2002)

RESUMO

No âmbito do presente estudo em curso de *“Desenvolvimento de metodologias para a avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas”* (Projecto FCT n.º POCTI/ECM/46323/2002) [1] realizaram-se novos ensaios em laboratório com o objectivo de desenvolver uma metodologia adequada de análise termográfica para a avaliação da presença e distribuição de humidade em paredes antigas, de alvenaria irregular de pedra.

Num anterior relatório [2] apresentaram-se os resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade e de secagem de uma maqueta à escala reduzida, bem como das observações termográficas realizadas. O presente documento refere-se ao estudo efectuado em laboratório sobre uma segunda maqueta, a qual foi submetida a um ensaio de absorção, por capilaridade, de água com uma concentração conhecida de cloreto de sódio. Este estudo teve como objectivo avaliar os efeitos da presença de sais higroscópicos no diagnóstico da humidade nas paredes.

Durante o ensaio de capilaridade e subsequente período de secagem até retorno à massa inicial, a maqueta foi objecto de observações visuais e termográficas. Complementarmente a estas observações, e de modo a apoiar a interpretação dos resultados das análises realizadas, procedeu-se a uma caracterização prévia dos elementos constituintes – argamassa de cal e areia e pedra calcária – da maqueta, e à pesagem regular da maqueta. No final do ensaio de capilaridade da maqueta realizaram-se novos ensaios sobre provetes dos materiais constituintes com o objectivo de melhor interpretar os resultados obtidos na maqueta.

**THERMOGRAPHIC ANALYSIS FOR THE ABSORPTION OF SALTED WATER
AND DRYING OF A STONE MASONRY TEST SPECIMEN**

— CAPILLARITY TEST —

**ANALYSE THERMOGRAPHIQUE POUR LA VISUALISATION DE L'ABSORPTION
D'EAU SALINE ET DU SÉCHAGE D'UN ÉCHANTILLON D'UN MUR EN PIERRE**

— ESSAI DE CAPILLARITÉ —

**ANÁLISE TERMOGRÁFICA PARA VISUALIZAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA SALINA
E DA SECAGEM DE UM MURETE DE ALVENARIA DE PEDRA**

- ENSAIO DE CAPILARIDADE -

(PROJECTO FCT n.º POCTI/ECM/46323/2002)

ÍNDICE DO TEXTO

	Pág.
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – ESTUDO REALIZADO	4
2.1 – Caracterização dos elementos constituintes das maquetas	4
2.2 – Metodologia de ensaio	7
2.3 – Medições e observações efectuadas	10
2.4 – Ensaio complementares	18
3 – CONCLUSÕES	21
BIBLIOGRAFIA	25
ANEXO I – TERMOGRAMAS E FOTOGRAFIAS DURANTE O ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	I.1
ANEXO II – TERMOGRAMAS E FOTOGRAFIAS DURANTE A FASE DE SECAGEM	II.1

ANÁLISE TERMOGRÁFICA PARA VISUALIZAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA SALINA E DA SECAGEM DE UM MURETE DE ALVENARIA DE PEDRA

- ENSAIO DE CAPILARIDADE -

(PROJECTO FCT n.º POCTI/ECM/46323/2002)

ÍNDICE DE QUADROS

	Pág.
Quadro 1 – Principais características da pedra calcária e das argamassas de cal	4
Quadro 2 – Valores da altura de ascensão capilar (face rebocada) e da massa de água absorvida determinados durante o ensaio de capilaridade da maqueta 2	12
Quadro 3 – Teores máximos de água absorvida e após secagem dos provetes em condições ambiente de 23°C e 75% HR	19

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS DO TEXTO

	Pág.
Fig. 1 – Ensaio de absorção de água por capilaridade de provetes da pedra calcária e da argamassa de cal.....	5
Fig. 2 – Absorção capilar (de água e de água salgada) e secagem dos provetes de argamassa	6
Fig. 3 – Absorção capilar (de água e de água salgada) e secagem dos provetes de pedra.....	6
Fig. 4 – Maqueta 2 de alvenaria de pedra irregular (face não-rebocada).....	8
Fig. 5 – Maqueta 2 de alvenaria de pedra irregular (face rebocada).....	8
Fig. 6 – Aspecto da face não-rebocada da maqueta 2 de alvenaria durante a fase de imersão parcial.....	9

	Pág.
Fig. 7 – Aspecto da face rebocada da maqueta 2 de alvenaria durante a fase de imersão parcial.....	9
Fig. 8 – Equipamento de termografia [8]	9
Fig. 9 – Variação de massa da maqueta 2 durante as fases de absorção capilar e de secagem	11
Fig. 10 – Evolução da temperatura e da humidade ambientes da nave de ensaios durante o ensaio da maqueta 2	13
Fig. 11 – Variação de massa das maquetas 1 [2] e 2 durante as fases de absorção capilar e de secagem.....	13
Fig. 12 – Ensaio de capilaridade das maquetas 1 [2] e 2. Tempo vs. Ascensão capilar	14
Fig. 13 – Ensaio de capilaridade nas maquetas 1 [2] e 2. Ascensão capilar vs. Água absorvida	15
Fig. 14 – Aspecto da relação entre as observações visuais e termográficas (t = 96 h).....	16
Fig. 15 – Aspecto das heterogeneidades (físicas e térmicas) na zona inferior molhada	18
Fig. 16 – Absorção e secagem dos provetes colocados em água . Ambiente de secagem dos provetes: 23°C / 75% HR.....	20
Fig. 17 – Absorção e secagem dos provetes colocados em água e sal (2,7 % m/m). Ambiente de secagem dos provetes: 23°C / 75% HR	20

FIGURAS DO ANEXOS

ANEXO I

	Pág.
Fig. I.1 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta antes do início de ensaio de capilaridade (t = 0 h)	I.3
Fig. I.2 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta antes do início de ensaio de capilaridade (t = 0 h)	I.3
Fig. I.3 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta após 3 h de ensaio	I.4

	Pág.
Fig. I.4 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta após 3 h de ensaio	I.4
Fig. I.5 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta após 7 h de ensaio	I.5
Fig. I.6 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta após 7 h de ensaio	I.5
Fig. I.7 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta após 24 h de ensaio	I.6
Fig. I.8 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta após 24 h de ensaio	I.6
Fig. I.9 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta após 48 h de ensaio	I.7
Fig. I.10 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta após 48 h de ensaio	I.7
Fig. I.11 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta após 96 h de ensaio	I.8
Fig. I.12 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta após 96 h de ensaio	I.8
Fig. I.13 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta após 168 h de ensaio	I.9
Fig. I.14 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta após 168 h de ensaio	I.9
Fig. I.15 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta após 264 h de ensaio	I.10
Fig. I.16 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta após 264 h de ensaio	I.10
Fig. I.17 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta no final do ensaio de capilaridade (t = 360 h).....	I.11
Fig. I.18 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta no final do ensaio de capilaridade (t = 360 h).....	I.11

ANEXO II

	Pág.
Fig. II.1 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta no início do período de secagem (t = 360 h)	II.3
Fig. II.2 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta no início do período de secagem (t = 360 h)	II.3
Fig. II.3 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta após 411 h de ensaio	II.4

Fig. II.4 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta após 411 h de ensaio	II.4
Fig. II.5 – Termograma da face não-rebocada da maqueta após 504 h de ensaio	II.5
Fig. II.6 – Termograma da face rebocada da maqueta após 504 h de ensaio	II.5
Fig. II.7 – Termograma da face não-rebocada da maqueta após 744 h de ensaio	II.6
Fig. II.8 – Termograma da face rebocada da maqueta após 744 h de ensaio	II.6

ANÁLISE TERMOGRÁFICA PARA VISUALIZAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA SALINA E DA SECAGEM DE UM MURETE DE ALVENARIA DE PEDRA

- ENSAIO DE CAPILARIDADE -

(PROJECTO FCT n.º POCTI/ECM/46323/2002)

1 – INTRODUÇÃO

No âmbito do presente estudo em curso de *“Desenvolvimento de metodologias para a avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas”* (Projecto FCT n.º POCTI/ECM/46323/2002) [1] realizaram-se novos ensaios em laboratório com o objectivo de desenvolver uma metodologia adequada de análise termográfica para a avaliação da presença e distribuição de humidade em paredes antigas, de alvenaria irregular de pedra.

Tal como foi referido em relatórios anteriores [2, 3], a termografia é um método de análise que permite obter uma imagem da distribuição aproximada da temperatura de um objecto, sem contacto físico com este, por medição da radiação térmica (na gama dos infravermelhos) emitida e reflectida pela superfície do referido objecto.

A partir da medição da energia total e do conhecimento da emitância da superfície em observação, e recorrendo à curva de calibração da própria câmara é possível criar uma imagem (vídeo, fotográfica ou impressa) da distribuição das temperaturas do objecto. Esta imagem, que se denomina **termograma**, representa quer as diferenças relativas entre as temperaturas registadas em diferentes pontos da superfície do objecto quer, recorrendo a uma calibração adequada, as temperaturas reais desses pontos.

Para se proceder à realização deste tipo de intervenções adoptam-se procedimentos passivos ou activos.

Como se verá adiante (vd. 2), o presente estudo, tal como o anterior [2], enquadra-se no âmbito dos métodos passivos, com a particularidade de as heterogeneidades térmicas observadas na superfície do objecto em causa serem sobretudo devidas a fenómenos evaporativos que ocorrem, quer no seu interior quer na sua superfície.

A presença de humidade, sob a forma de vapor ou de água líquida, é a causa de diversas anomalias e degradações ocorridas nos elementos de construção.

A sua presença pode aumentar significativamente a condutibilidade térmica dos materiais com a conseqüente redução da resistência térmica dos elementos em que se integram. Esta

redução é com frequência a causa de heterogeneidades significativas registadas nas temperaturas superficiais e de agravamentos das trocas térmicas entre os ambientes interior e exterior.

A presença e os fenómenos de capilaridade e de evaporação da humidade são também responsáveis por variações dimensionais e degradações nos elementos construtivos. Estas últimas resultam, nomeadamente, do transporte e posterior deposição de sais dissolvidos na água ou do favorecimento de desenvolvimentos biológicos nocivos. Em situações climáticas mais desfavoráveis os fenómenos de congelação-degelo devidos à presença de água líquida são, frequentemente, a causa da degradação acelerada dos elementos da envolvente dos edifícios ou dos seus revestimentos exteriores.

A detecção da humidade nos elementos de construção é realizada por métodos, quer destrutivos quer não-destrutivos.

A análise termográfica pode revelar-se um interessante método não-destrutivo neste domínio. Todavia a interacção de diversos fenómenos poderá dificultar a sua utilização, quer em laboratório quer *in situ* [3, 4, 5].

A detecção da presença de água num elemento construtivo terá como base duas das suas consequências: por um lado as alterações das respectivas características térmicas dos seus materiais constituintes – condutibilidade, efusibilidade, difusibilidade e capacidade térmicas – afectam o desempenho térmico do elemento construtivo, em condições de transmissão de calor quer estacionárias (condutibilidade térmica) quer variáveis; por outro lado a mudança de estado correspondente à evaporação da água é um fenómeno endotérmico, acompanhado por uma absorção de calor pela humidade (calor latente de vaporização de cerca de 2500 J/g) que provoca um arrefecimento localizado na superfície do elemento.

Em qualquer dos casos criam-se diferenças da temperatura superficial, suficientemente sensíveis para poderem ser detectadas com o equipamento de termografia.

A análise termográfica tem sido aplicada em diversos estudos *in situ* no âmbito da identificação e do estudo das causas de anomalias verificadas em edifícios [6, 7].

As dificuldades encontradas em muitos casos em identificar, sem ambiguidades, a presença de água levou a complementar as observações em obra com estudos laboratoriais [3, 8, 9] realizados em condições tão controladas quanto possível.

No âmbito do presente estudo de investigação co-financiado pela FCT o programa de ensaios laboratoriais incide sobre duas maquetas (muretes), à escala reduzida, de paredes de alvenaria irregular de pedra assente com argamassa de cal, e sobre uma parede do mesmo tipo, construída à escala real. A primeira maqueta (maqueta 1) foi submetida a um

ensaio de absorção de água por capilaridade, de modo a avaliar-se o efeito da humidade ascensional – observada com frequência em paredes que se encontram em contacto com o solo – tendo os resultados desse ensaio, e respectiva análise, sido apresentados num anterior relatório [2].

A maior parte dos materiais utilizados na execução de paredes, quer antigas quer recentes, são materiais porosos e higroscópicos e contêm sais higroscópicos quer desde a origem quer posteriormente por migração desses sais do solo para as paredes, transportados pela água absorvida por capilaridade.

A humidade higroscópica, resultante da presença de sais que retêm humidade durante os seus ciclos de dissolução/cristalização, provoca alterações do teor de água de um elemento construtivo e modifica também os seus ciclos de humedecimento/secagem, pois a humidade de equilíbrio higroscópico de um elemento construtivo altera-se em função do teor de sais que contenha.

Assim cada sal, com um teor de humidade de equilíbrio característico, poderá promover a retenção de água em determinados intervalos de humidade relativa do ar, diminuindo a taxa de evaporação de água desse elemento e atenuando as diferenças de temperatura superficial. Este fenómeno aumenta a dificuldade de detecção por métodos não destrutivos, nomeadamente por termografia.

O presente documento apresenta o estudo efectuado em laboratório sobre a segunda maqueta à escala reduzida (maqueta 2), a qual foi submetida a um ensaio de absorção por capilaridade de água com uma concentração conhecida de cloreto de sódio⁽¹⁾, com o objectivo de avaliar da existência de sais higroscópicos nas paredes no diagnóstico rigoroso da existência de humidade e do respectivo teor.

Durante o ensaio de capilaridade e subsequente período de secagem até massa constante, a maqueta 2 foi objecto de observações visuais e termográficas. Complementarmente a estas observações, e de modo a apoiar a interpretação dos resultados das análises realizadas, procedeu-se a uma caracterização prévia dos elementos constituintes da maqueta (vd. 2.1) – argamassa de cal e areia e pedra calcária –, e à pesagem regular da maqueta (vd. 2.3).

⁽¹⁾ Utilizou-se uma concentração de 2,7% *m/m* devido a ser aproximadamente igual à concentração de sal na água do mar [10].

2 – ESTUDO REALIZADO

2.1 – Caracterização dos elementos constituintes das maquetas

Tal como referido anteriormente, no âmbito do presente projecto foram construídas duas maquetas de pequenas dimensões – 1,00 m × 1,00 m (dimensões faciais) e espessura de 0,40 m – de uma parede de alvenaria irregular de pedra calcária (semi-rijo de Leiria) e argamassa de cal aérea e areia siliciosa (traço 1:3). Numa destas maquetas (maqueta 2) foi realizado o revestimento de uma das faces com um reboco em duas camadas de argamassa de cal aérea, areia de rio e areia de Corroios, com traço 1:3.

Os elementos constituintes das maquetas – argamassas de cal e pedra calcária – apresentam diferenças em termos de estrutura porosa interna, de velocidades e percentagens de absorção de água, e de velocidades de secagem. Pelo interesse particular de que se reveste o comportamento à água dos elementos constituintes procedeu-se à respectiva caracterização experimental⁽²⁾, sintetizando-se no Quadro 1 os resultados obtidos.

Quadro 1 – Principais características da pedra calcária e das argamassas de cal

Ensaio	Pedra	Argamassa de assentamento	Argamassa de revestimento
Massa volúmica real (kg/m^3)	2680	2480	—
Massa volúmica aparente (kg/m^3)	2460	1720	—
Porosidade acessível à água (%)	8,2	30,8	—
Teor máximo de água de absorção (W_{max}) (% m/m)	3,4	18,0	—
Teor máximo de água às 48 horas (W_{48h}) (% m/m)	3,2	15,5	—
Coefficiente de capilaridade entre 0 e 30 min ($kg/m^2 \cdot h^{1/2}$) Ensaio com água	0,7	50,3	28,5
Coefficiente de capilaridade entre 0 e 30 min ($kg/m^2 \cdot h^{1/2}$) Ensaio com água + sal (NaCl)	0,8	42,9	20,9
Permeabilidade ao vapor de água ($ng/m \cdot s \cdot Pa$)	<i>n.d.</i>	31,0	—
Espessura da camada de ar de difusão equivalente a 0,01 m de argamassa (S_D) (m)	<i>n.d.</i>	0,06	—

Obs: 1 - *n.d.* – valor não determinado.

2 - Os valores do teor máximo de água de absorção e do teor máximo de água às 48 h foram determinados em imersão total.

3 - Os coeficientes de capilaridade correspondem aos declives do segmento definido pelas pesagens efectuadas aos 0 e aos 30 min nos respectivos ensaios (Fig. 2).

⁽²⁾ Os ensaios de absorção de água por capilaridade foram realizados com água simples e com água com uma concentração de 2,7% m/m de cloreto de sódio.

Os ensaios de porosidade acessível à água, das massas volúmicas e do teor máximo de água de absorção foram efectuados segundo os Procedimentos de Ensaio do LNEC/LERO, que por sua vez seguem as Recomendações Provisórias da RILEM 25 PEM. Os respectivos procedimentos de ensaios baseiam-se no método da saturação total em água sob vácuo e da pesagem hidrostática.

Os ensaios de capilaridade (Fig. 1) foram realizados de acordo com a Norma Europeia EN 1015-18 sobre provetes de argamassa ($40\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 160\text{ mm}$) e de pedra ($40\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 120\text{ mm}$), num ambiente com 23°C de temperatura e 50% de humidade relativa. Os ensaios de capilaridade dos provetes de argamassa foram efectuados após 90 dias da data do respectivo fabrico. Os provetes foram mantidos em contacto com a água durante um período de 24 horas, após o qual se acompanhou a respectiva secagem natural.

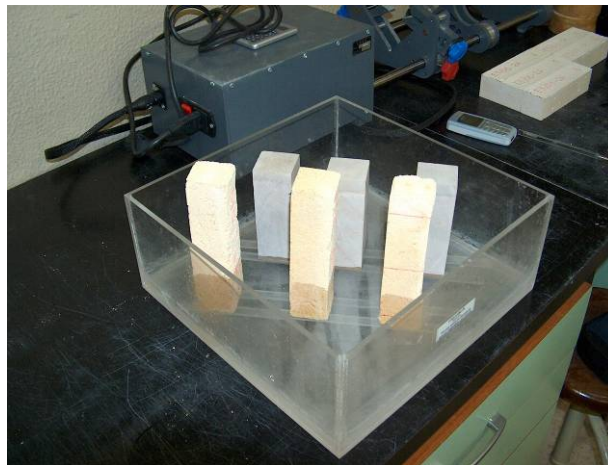


Fig. 1 – Ensaio de absorção de água por capilaridade de provetes da pedra calcária e da argamassa de cal

Na Fig. 2 e na Fig. 3 apresentam-se os gráficos da evolução da absorção de água por capilaridade e da secagem referentes aos ensaios dos provetes dos materiais utilizados (pedra calcária e argamassas de cal aérea). Nos respectivos gráficos, como é habitual nos ensaios de capilaridade efectuados sobre elementos para alvenarias, os resultados obtidos expressam-se em termos da quantidade de água absorvida por unidade de superfície (kg/m^2) em função da raiz quadrada do tempo ($h^{1/2}$).

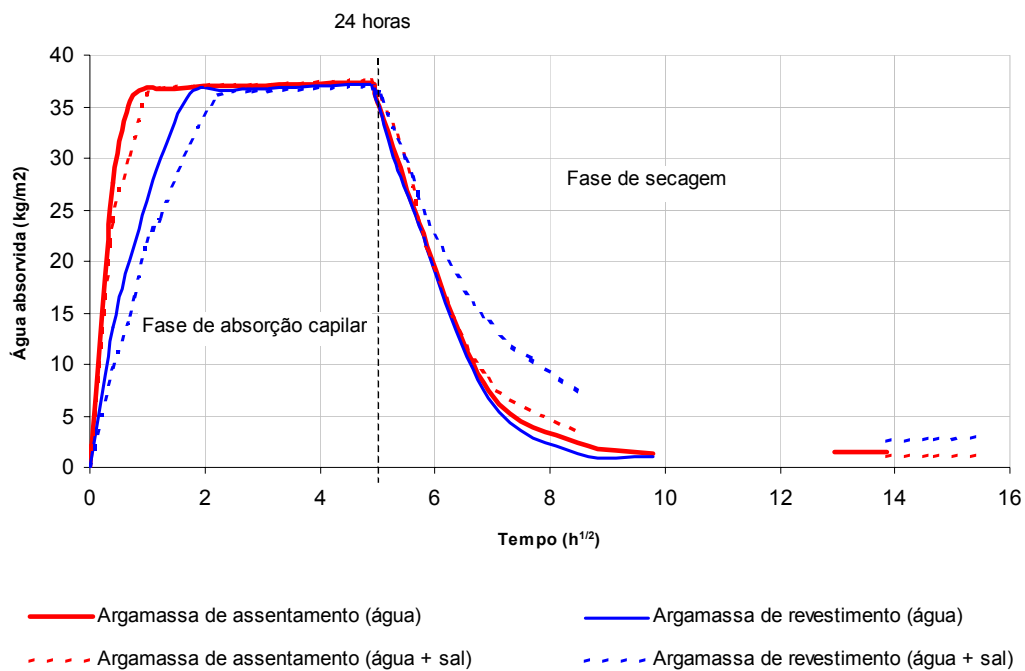


Fig. 2 – Absorção capilar (de água e de água salgada) e secagem dos provetes de argamassa

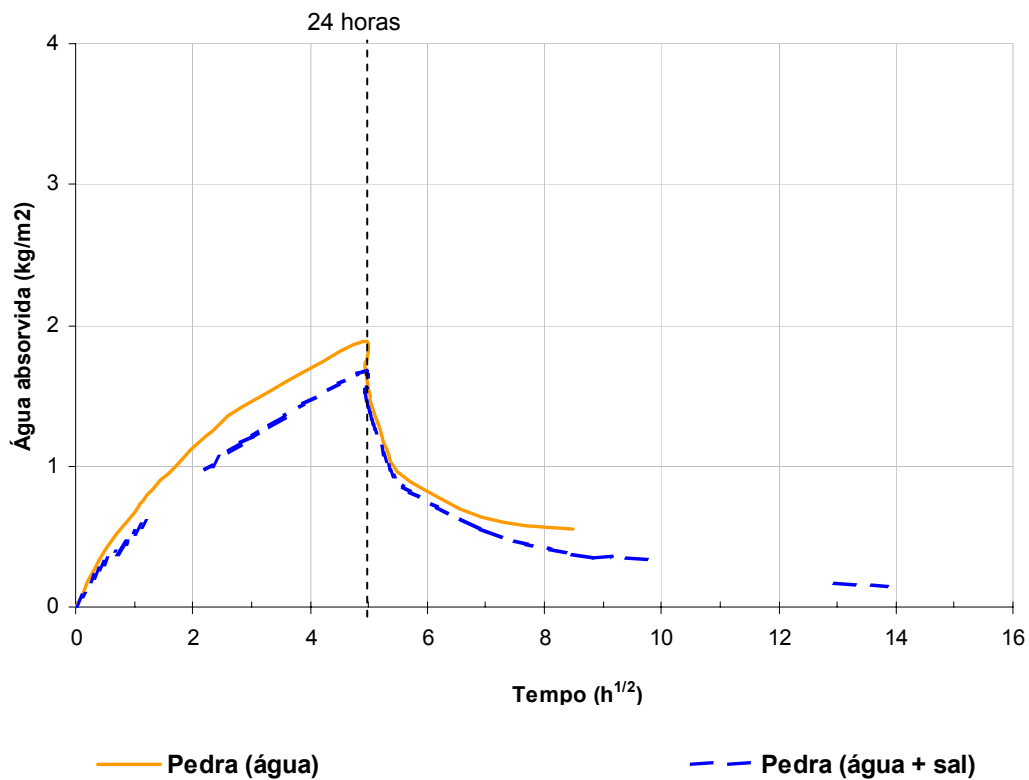


Fig. 3 – Absorção capilar (de água e de água salgada) e secagem dos provetes de pedra

Como se pode constatar pela análise das figuras anteriores a absorção de água por capilaridade da argamassa é muito superior à que caracteriza a pedra calcária ao fim de um período de 24 h, como já faziam prever os correspondentes valores da porosidade (30,8% e 8,2%). As figuras revelam ainda que o processo de absorção de água é muito rápido na argamassa, desde os primeiros minutos de contacto da base do provete com a água – tendo-se atingido o valor máximo de absorção de água em todos os casos em menos de duas horas –, e que a correspondente secagem até retorno à massa inicial, embora mais lenta, se processa também facilmente.

Em comparação com a argamassa, ambos os processos se registam mais lentamente nos provetes de pedra calcária e o processo de secagem é mais lento que a molhagem. Tendo em conta que o ensaio não foi prolongado até à saturação, não é possível tirar conclusões quanto à absorção total e a secagem da pedra.

Para os vários materiais, o ensaio de absorção de água com cloreto de sódio revelou uma absorção ligeiramente mais lenta do que a registada no ensaio com água simples, embora com andamentos muito semelhantes. No caso da pedra a quantidade máxima de água absorvida foi menor no ensaio efectuado com água salgada do que a obtida no ensaio realizado apenas com água.

Durante o processo de secagem (ensaio com água salgada), quer para a argamassa quer para a pedra, a diminuição da massa por evaporação da água efectua-se num período mais longo. Refira-se, ainda, que no caso da argamassa, em que as quantidades máximas de água absorvida foram iguais em ambos os ensaios, verifica-se que o processo de secagem é mais lento no ensaio efectuado com água e sal, provavelmente, devido à cristalização dos sais e ainda a uma possível adsorção de água higroscópica⁽³⁾.

Estas diferenças de comportamentos dos materiais utilizados na maqueta experimental influenciaram, como é natural, o desempenho desta, como se referirá a seguir.

2.2 – Metodologia de ensaio

Após a construção da maqueta 2 e da aplicação do revestimento, e antes do início de qualquer ensaio, esta foi mantida em repouso na nave de ensaios do Pavilhão de Componentes (Núcleo de Revestimentos e Isolamentos/Departamento de Edifícios) durante um período superior a 90 dias, admitindo-se que ao longo deste período a maqueta atingiu o “equilíbrio” higrométrico com o ambiente da nave.

⁽³⁾ A humidade relativa ambiente também terá, certamente, uma influência não desprezável no processo de secagem.

Tal como referido na continuação do estudo, e de modo a avaliar-se os efeitos da existência de sais higroscópicos nas paredes e as dificuldades que poderão resultar desse facto para um diagnóstico da presença de humidade, foi realizado, sobre a segunda maqueta (maqueta 2), um ensaio de absorção de água por capilaridade com uma concentração de 2,7% (*m/m*) de cloreto de sódio. Para a realização deste ensaio a maqueta 2 foi executada sobre um suporte adequado que permitiu realizar a correspondente pesagem regular.

A maqueta 2 utilizada neste ensaio apresentava uma das faces rebocada. A existência de uma das faces revestida permitiu a observação da absorção de água por capilaridade segundo dois aspectos:

- face não-rebocada (Fig. 4) – a observação desta face permitiu a análise do desempenho diferenciado dos seus elementos constituintes (pedra e argamassa de alvenaria) e uma comparação com a maqueta anteriormente ensaiada.
- face rebocada (Fig. 5) – esta face permitiu a análise do conjunto parede e revestimento sob a acção da humidade ascensional, para avaliar a influência dos vários componentes no desempenho global.



Fig. 4 – Maqueta 2 de alvenaria de pedra irregular (face não-rebocada)

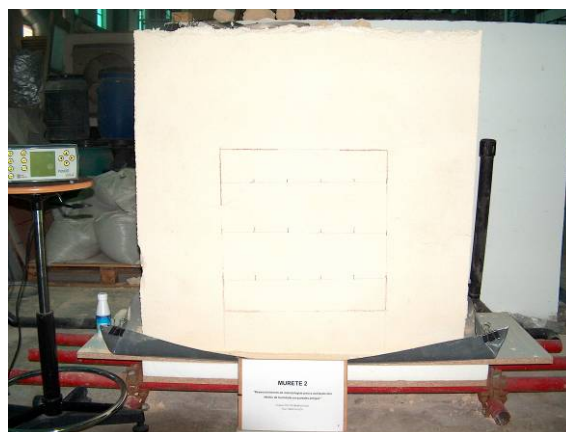


Fig. 5 – Maqueta 2 de alvenaria de pedra irregular (face rebocada)

O estudo realizado consistiu nas seguintes acções:

- realização, na nave de ensaios ($18\pm 2^{\circ}\text{C}$ / $75\pm 15\%\text{HR}$), de um processo de imersão parcial em água salgada (com 2,7% de NaCl dissolvido) da maqueta 2 (Fig. 6 e Fig. 7); durante a imersão foi mantida uma altura de 50 *mm* de água junto da base da maqueta;
- pesagem regular da maqueta com um célula de carga com capacidade de 20 *kN* e resolução de 1 *N*;

- observação visual e termográfica (vd. Anexo I) das faces aparentes da maqueta, e anotação das correspondentes alturas de ascensão capilar (Fig. 6 e Fig. 7);
- após ser atingida a massa constante, a maqueta deixou de ser mantida em contacto com a água (a partir de 360 h de ensaio) e procedeu-se ao acompanhamento da respectiva secagem natural no ambiente da nave de ensaios ($14\pm 4^{\circ}\text{C}$ / $60\pm 25\%$ HR);
- durante o período de secagem continuaram a realizar-se pesagens regulares e observações visuais da superfície da maqueta e continuou-se a proceder à análise termográfica das suas faces principais (vd. Anexo II).



Fig. 6 – Aspecto da face não-rebocada da maqueta 2 de alvenaria durante a fase de imersão parcial

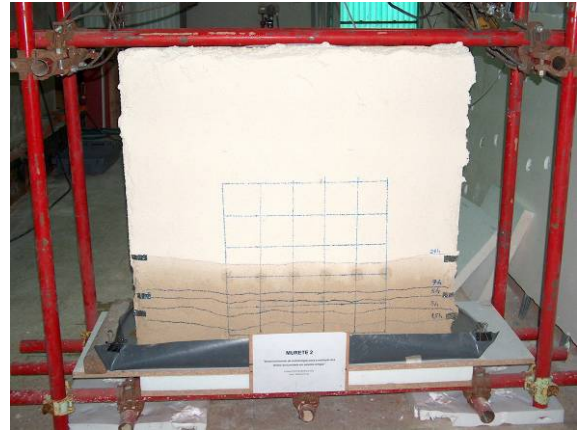


Fig. 7 – Aspecto da face rebocada da maqueta 2 de alvenaria durante a fase de imersão parcial

Os termogramas apresentados neste trabalho (vd. Anexos I e II) foram obtidos, em primeiro lugar, pela utilização de um sistema de aquisição e de registo de imagens térmicas (Fig. 8) e, seguidamente, pelo seu tratamento com programas de conversão e de análise adequados (PicEd e ConAvio).



Fig. 8 – Equipamento de termografia [8]

2.3 – Medições e observações efectuadas

Na Fig. 9 representa-se graficamente a evolução dos valores da variação da massa da maqueta 2 ao longo do tempo⁽⁴⁾ e, em paralelo, na Fig. 10 apresenta-se o registo da evolução da temperatura e da humidade relativa do ambiente da nave de ensaios. Estes parâmetros foram lidos e registados durante todo o período de cerca de 66 dias em que decorreram o ensaio de capilaridade (fases de imersão parcial e de secagem) e as observações termográficas.

No Quadro 2 indicam-se os resultados das determinações pontuais efectuadas durante o ensaio, quer das alturas máximas de ascensão capilar quer da massa de água absorvida pela maqueta 2. Os valores da massa de água absorvida são expressos em valor absoluto (*kg*) e em massa de água absorvida por unidade de área (*kg/m²*) da base da maqueta.

Nos Anexos I e II apresentam-se os diversos termogramas obtidos, respectivamente, durante as fases de absorção de água e de secagem da maqueta.

Na Fig. 9 inseriram-se alguns desses termogramas das duas faces da maqueta 2 ilustrando a correspondência entre a massa de água retida na maqueta e as possibilidades da observação termográfica. Na Fig. 11 apresentam-se os gráficos de evolução da variação de massa de ambas as maquetas (maquetas 1 [2] e 2), apenas a título indicativo, visto que as condições ambientes foram diferentes no decorrer dos dois ensaios.

⁽⁴⁾ De modo idêntico aos gráficos dos ensaios de capilaridade dos elementos constituintes (Fig. 2 e Fig. 3), no gráfico correspondente ao ensaio da maqueta; em abcissas representa-se a raiz quadrada do tempo ($t^{1/2}$) e em ordenadas a massa de água absorvida por unidade de 3superfície (*kg/m²*).

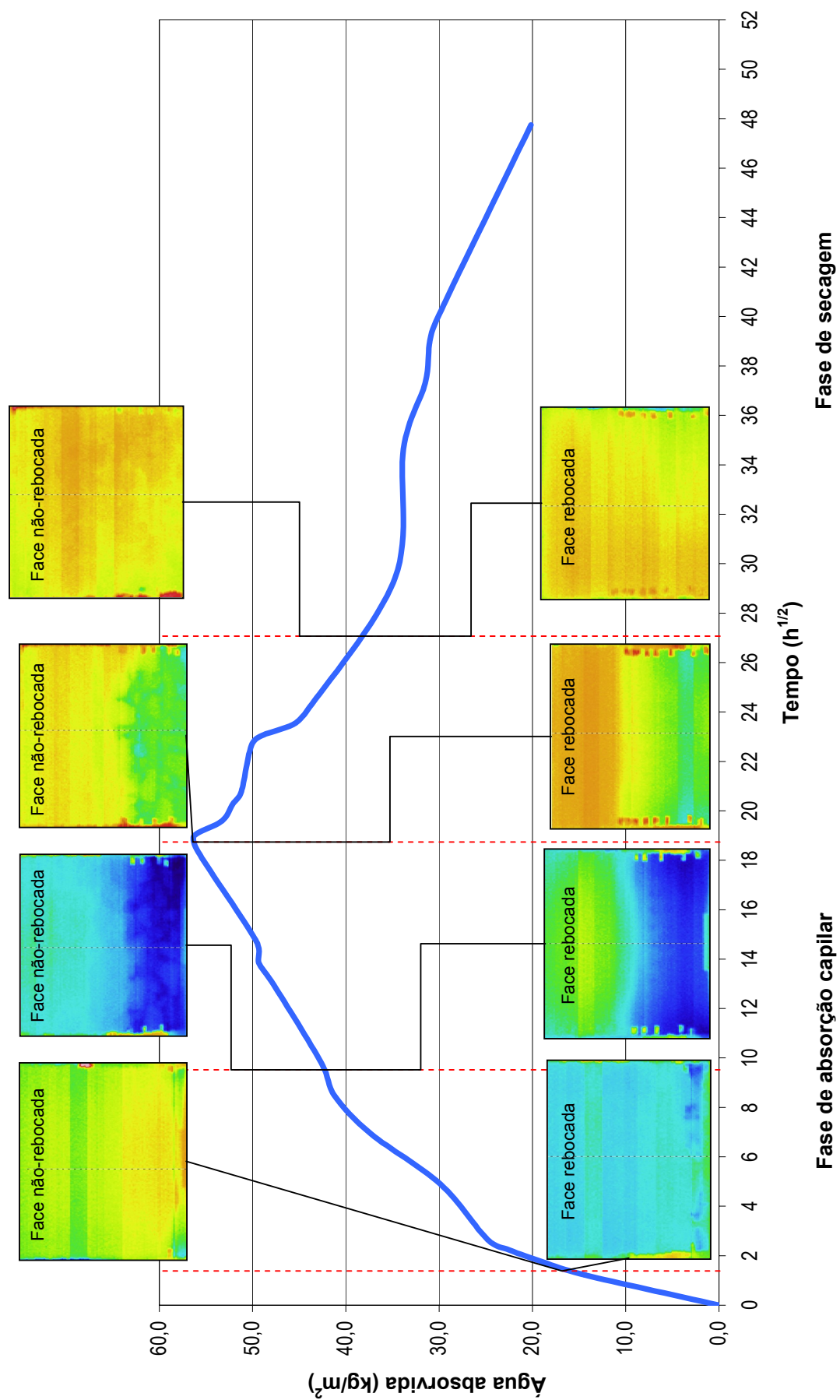


Fig. 9 – Variação de massa da maquete 2 durante as fases de absorção capilar e de secagem

Quadro 2 – Valores da altura de ascensão capilar (face rebocada) e da massa de água absorvida determinados durante o ensaio de capilaridade da maqueta 2

Fase de ensaio	Tempo de ensaio		Altura de ascensão capilar ⁽¹⁾ (mm)	Água absorvida acumulada		Termograma (vd. Anexos I e II)
	(h)	(h ^{1/2})		(kg)	(kg/m ²)	
	Imersão parcial (absorção capilar)	1,5		1,2	130	
3		1,7	190	8,3	18,8	I.3 e I.4
5		2,2	220	9,9	22,5	
7		2,6	224	10,9	24,8	I.5 e I.6
24		4,9	350	13,1	29,9	I.7 e I.8
48		6,9	410	16,4	37,3	I.9 e I.10
72		8,5	445	18,1	41,2	
96		9,8	465	18,8	42,6	I.11 e I.12
168		13,0	530	21,0	47,7	I.13 e I.14
192		13,9	550	21,7	49,3	
216		14,7	550	21,8	49,6	
264		16,2	n.d. ⁽²⁾	n.d. ⁽²⁾	n.d. ⁽²⁾	I.15 e I.16
336		18,3	600	24,6	55,8	
Secagem	360	19,0	600	24,8	56,3	I.17,II.1 e I.18,II.2
	384	19,6	n.d. ⁽²⁾	23,4	53,3	
	411	20,3	n.d. ⁽²⁾	22,9	52,1	II.3 e II.4
	432	20,8	n.d. ⁽²⁾	22,5	51,2	
	504	22,4	n.d. ⁽²⁾	22,1	50,3	II.5 e II.6
	528	23,0	n.d. ⁽²⁾	21,7	49,3	
	552	23,5	n.d. ⁽²⁾	20,1	45,6	
	576	24,0	n.d. ⁽²⁾	19,5	44,2	
	744	27,3	n.d. ⁽²⁾	n.d. ⁽²⁾	n.d. ⁽²⁾	II.7 e II.8
	864	29,4	n.d. ⁽²⁾	15,3	34,8	
	1200	34,6	n.d. ⁽²⁾	14,9	33,8	
	1392	37,3	n.d. ⁽²⁾	13,9	31,5	
	1512	38,9	n.d. ⁽²⁾	13,7	31,0	
	1584	39,8	n.d. ⁽²⁾	13,4	30,3	
2280	47,7	n.d. ⁽²⁾	8,9	20,2		

Obs: 1 - Altura máxima de ascensão capilar medida a partir da base do provete na face revestida (imersa 50 mm). A face não-revestida apresentou alturas de ascensão capilar ligeiramente inferiores.

2 - n.d. – valor não determinado.

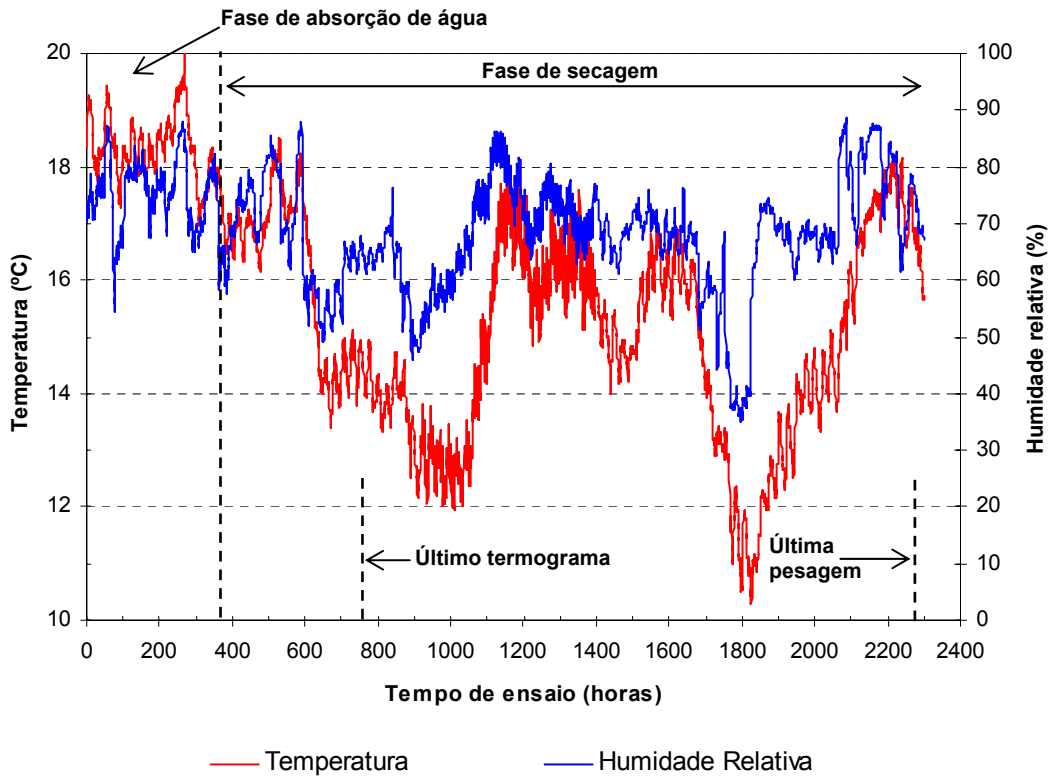


Fig. 10 – Evolução da temperatura e da humidade ambientes da nave de ensaios durante o ensaio da maqueta 2

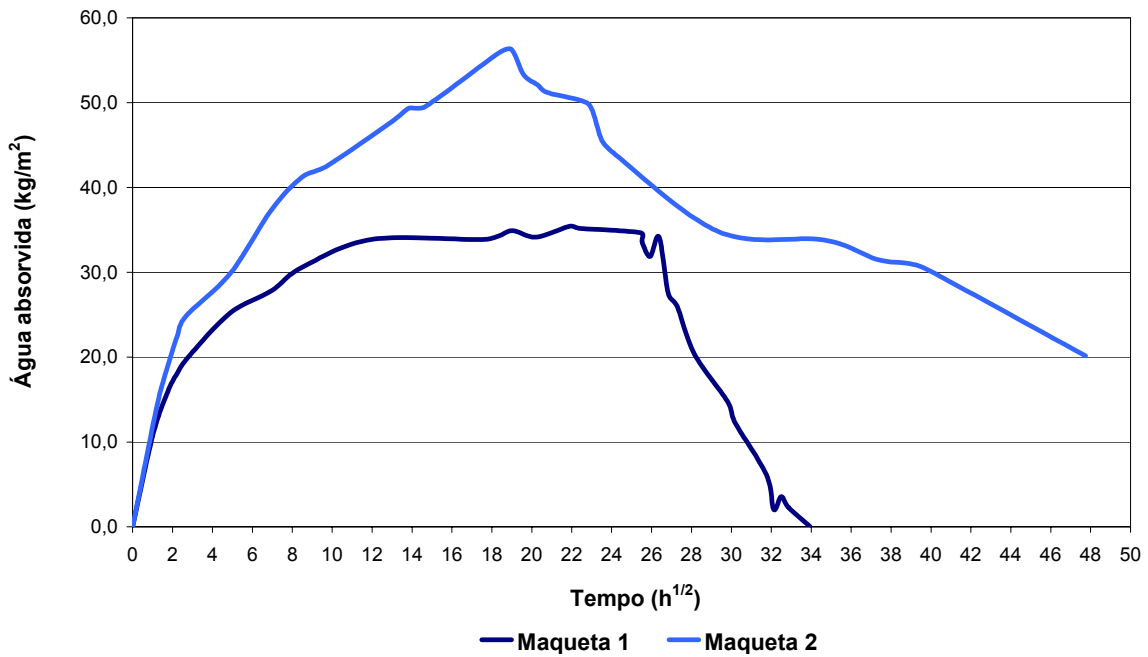


Fig. 11 – Variação de massa das maquetas 1 [2] e 2 durante as fases de absorção capilar e de secagem

Analisa-se, seguidamente, os resultados das medições, pesagens e observações efectuadas no âmbito do presente estudo.

a) fase de imersão parcial

A pesagem e a observação visual da maqueta 2 (Fig. 9 e Quadro 2) revelaram que a absorção capilar se processou rapidamente, desde as primeiras horas de contacto da base com a água. Após uma hora e meia, cinco e vinte e quatro horas de contacto com o líquido os acréscimos de massa correspondiam, respectivamente, a cerca de 25%, 40% e 50% do valor total registado.

Como era previsível, a partir dos resultados obtidos nos ensaios de absorção capilar efectuados sobre os elementos constituintes, em particular das argamassas, uma observação mais atenta da superfície molhada da maqueta de alvenaria revelou que a ascensão capilar era mais evidente nas argamassas de cal, quer de assentamento quer de reboco, cujo humedecimento era bem visível e sensível ao tacto.

Após a fase inicial do ensaio, a ascensão capilar tornou-se um pouco mais lenta (Fig. 12), tendo a altura máxima (600 mm) sido atingida ao fim de cerca de quinze dias de contacto com a água. Ao fim deste período de 360 h a quantidade total de água absorvida pela maqueta aproximava-se do máximo atingido durante o ensaio.

Na referida figura apresenta-se ainda a evolução da ascensão capilar do ensaio realizado sobre a maqueta 1 [2], verificando-se que, embora a altura máxima atingida (500 mm) tenha sido aproximadamente idêntica, foi atingida mais rapidamente.

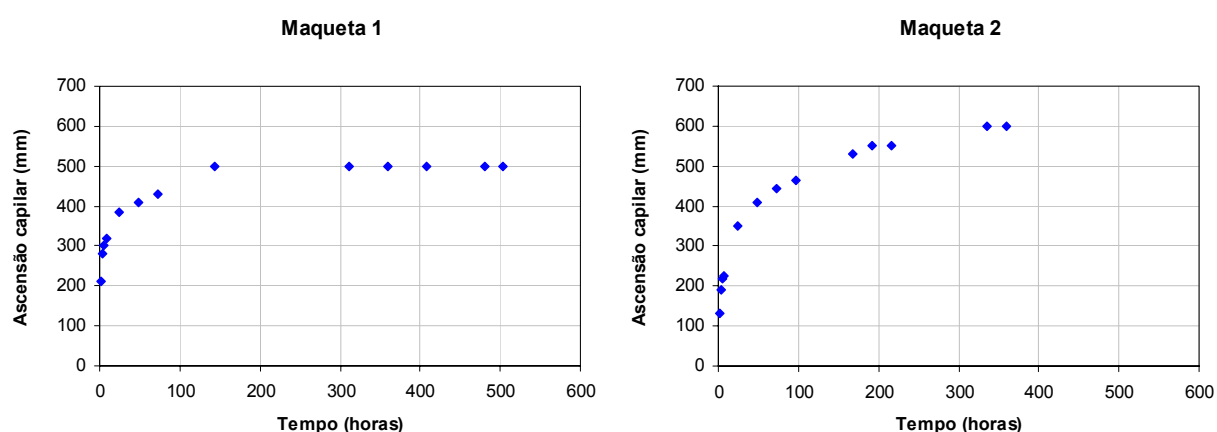


Fig. 12 – Ensaio de capilaridade das maquetas 1 [2] e 2. Tempo vs. Ascensão capilar

De referir que no final da fase de absorção capilar a maqueta tinha absorvido uma massa de água de cerca de 25 kg, a qual representa um valor unitário de cerca de 62 kg/m², bastante superior ao obtido (≈ 38 kg/m²) nos ensaios de capilaridade dos provetes da argamassa de cal utilizada na execução da parede (Fig. 2).

Refira-se também que, embora o coeficiente de capilaridade determinado para a absorção de água no ensaio com água salgada fosse inferior ao do ensaio com água simples, o acréscimo de massa na maqueta sujeita ao contacto de água com sal foi muito superior ao do ensaio anterior, registando-se uma absorção unitária de quase o dobro. Este facto, em parte, é justificado pela existência de uma face revestida com argamassa com 0,04 m de espessura.

A análise dos valores observados da altura de ascensão capilar visível nas faces da maqueta 2 permite verificar que se estabelece uma relação praticamente linear entre a altura registada e a quantidade de água absorvida (Fig. 13) numa razão muito semelhante à determinada no ensaio realizado sobre a maqueta 1 (Fig. 13).

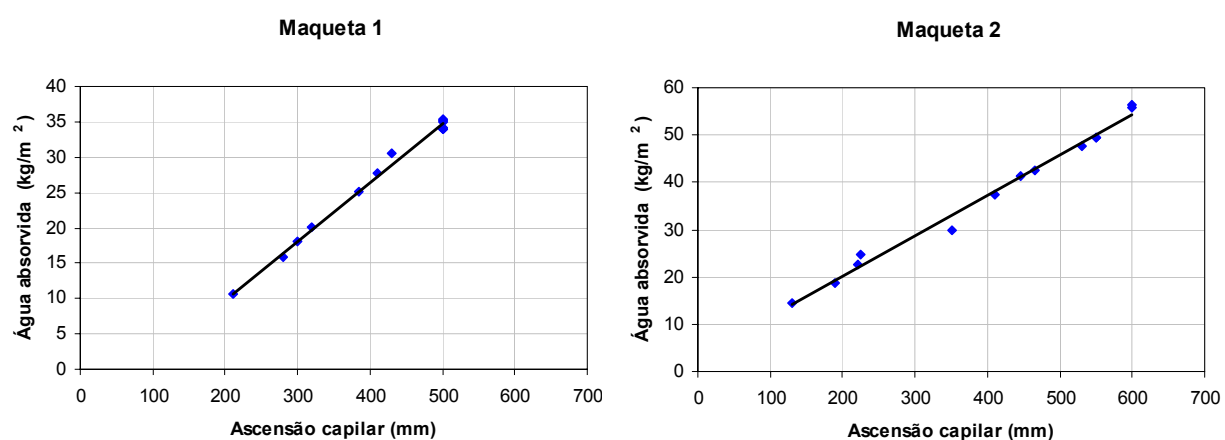


Fig. 13 – Ensaio de capilaridade nas maquetas 1 [2] e 2. Ascensão capilar⁽⁵⁾ vs. Água absorvida

Com base nos registos efectuados (Quadro 2) determinou-se o coeficiente de capilaridade da maqueta à 1 hora, tendo-se obtido o valor de $12,90 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$, o qual se situa entre os valores obtidos para os provetes de argamassa e de pedra aos 30 minutos (Quadro 1).

Tal como já foi referido, durante a fase de absorção capilar obteve-se uma sequência de termogramas, efectuados em ambas as faces da maqueta, a qual é apresentada no Anexo I.

Observando as figuras I.4 a I.6 do Anexo I verifica-se que as observações termográficas traduzem muito aproximadamente as observações visuais, tal como se verificou em estudos realizados anteriormente [3, 8, 9]. No entanto, a partir das figuras I.7 e I.8 (vd. Anexo I) e quase até ao final do período de absorção de água (Fig. I.14, Anexo I), os termogramas permitem identificar manchas (áreas) mais extensas, do que as áreas húmidas observadas em fotografia (Fig. 14). Refira-se que os troços de fita de alumínio que podem ser observados em ambas as faces da maqueta foram colados de modo a assinalar o limite

⁽⁵⁾ A altura de ascensão capilar foi medida na face revestida.

visível da área molhada, e foram colocadas imediatamente antes de se obterem os termogramas.

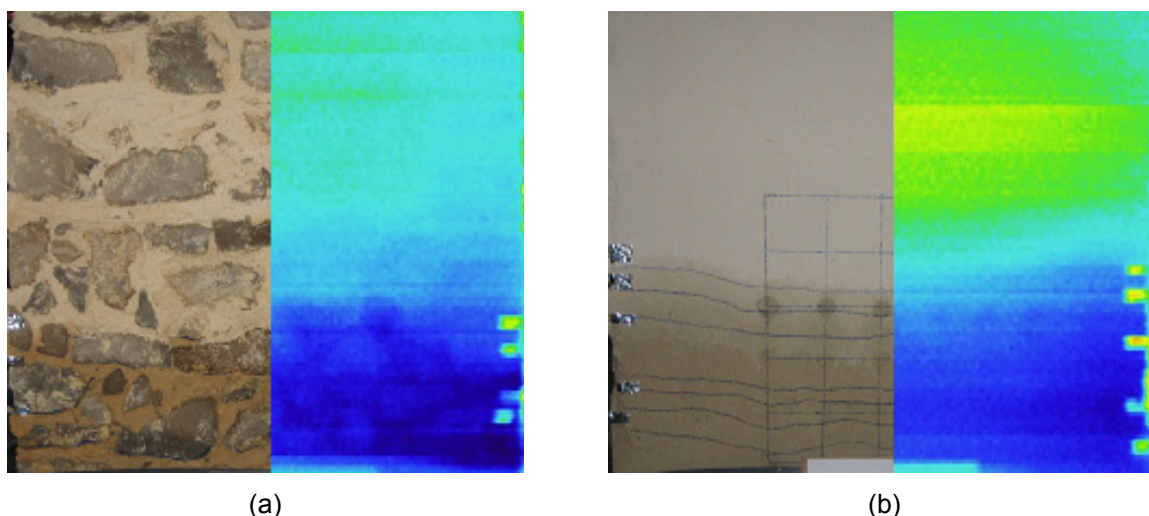


Fig. 14 – Aspecto da relação entre as observações visuais e termográficas⁽⁶⁾ ($t = 96$ h): face não-revestida (a) e face revestida (b)

Salienta-se ainda o facto das manchas obtidas (por observação visual e termográfica) na face rebocada da maqueta terem um aspecto bastante diferente das manchas obtidas na face não-rebocada (Anexo I e Fig. 14), nomeadamente uma ascensão capilar mais pronunciada nos limites laterais da maqueta e uma altura máxima maior. Na face não-rebocada da maqueta a ascensão capilar na zona central do provete é mais elevada do que nos seus limites laterais, tal como foi observado na análise efectuada na maqueta 1 [2], e em outros estudos realizados anteriormente [8, 9].

b) fase de secagem

Após terem deixado de se registar acréscimos de massa da maqueta, indiciando um estado de equilíbrio entre a absorção de água e a perda por evaporação, a maqueta foi retirada do contacto com o líquido e deu-se início à fase de secagem (a partir de $t \cong 360$ h).

Durante esta fase continuaram a efectuar-se pesagens regulares, observações visuais da superfície da maqueta e observações termográficas. A sequência de termogramas obtidos durante esta fase é apresentada no Anexo II.

Os termogramas das figuras II.1 e II.2 (vd. Anexo II) representam o estado térmico da superfície da maqueta no início da fase de secagem ($t = 360$ h). Nesses termogramas, como nos termogramas obtidos durante mais cerca de 144 h (vd. Anexo II, Figs II.1 a II.6), é

⁽⁶⁾ As figuras apresentam a imagem completa do murete, apresentando-se na metade esquerda a observação visual e na metade direita a observação termográfica.

possível identificar a presença e a evolução da distribuição de água na maqueta. Contrariamente ao verificado no estudo anterior [2], quando deixou de ser possível identificar a presença de humidade através da termografia ainda a maqueta tinha uma massa significativamente superior à massa inicial (Quadro 2).

Salienta-se, ainda, que na maqueta 1 foi possível identificar a presença de humidade durante um período muito superior [2] ao observado na maqueta 2 (vd. Anexo II), apesar de esta ter absorvido uma maior quantidade de água como atrás se referiu (fig. 11). Todavia para além de outros factores, há que lembrar que as condições ambientes da nave de ensaios durante a realização dos dois ensaios apresentavam algumas diferenças sensíveis. Durante a fase de secagem do ensaio da maqueta 1 [2] a temperatura ambiente variou entre cerca de 18°C, na fase inicial, e cerca de 22°C, durante uma boa parte da restante duração dessa fase. Nesse ensaio a humidade relativa manteve-se em grande parte da fase de secagem na gama de 50% a 70%.

No presente ensaio, como se pode observar no gráfico apresentado na Figura 11, as temperaturas ambientes mantiveram-se, maioritariamente, abaixo de 17°C descendo até valores da ordem de 13°C; a humidade relativa manteve-se quase sempre dentro da gama de 60% a 80%.

No período inicial da secagem (vd. Anexo II, Fig. II.1 a II.4) a evaporação de água superficial é mais acentuada, dando origem às maiores heterogeneidades da temperatura superficial, das quais resultou uma diferença de temperatura máxima, entre as zonas molhada e seca da superfície da maqueta, de cerca de 0,7°C. Este valor é significativamente inferior ao obtido em outros estudos laboratoriais realizados no LNEC [3, 8, 9], e cerca de metade do valor obtido no ensaio de capilaridade (só com água) efectuado na maqueta 1 [2]. Como se verifica nas Figs. 10 e 11 as condições ambientes e a taxa de secagem da maqueta conduzem a taxas de evaporação menores, as quais podem justificar o valor referido (0,7°C).

Todavia, apesar das limitadas diferenças de temperaturas superficiais registadas, como acima se referiu, os termogramas obtidos no presente estudo permitem identificar claramente a zona molhada da maqueta durante as fases de absorção e de secagem.

Além deste facto, alguns termogramas incluídos no Anexo II revelam, ainda, tal como no estudo anterior [2], a ocorrência de ligeiras heterogeneidades na temperatura da zona molhada da superfície da maqueta não-rebocada, as quais revelam a existência de diferentes teores de humidade provocados, quer pela influência dos bordos laterais da maqueta na respectiva secagem, quer pelas diferenças de características e de

humidificação dos elementos constituintes (argamassa das juntas e pedras). Estas heterogeneidades estão ilustradas na Fig. 15.

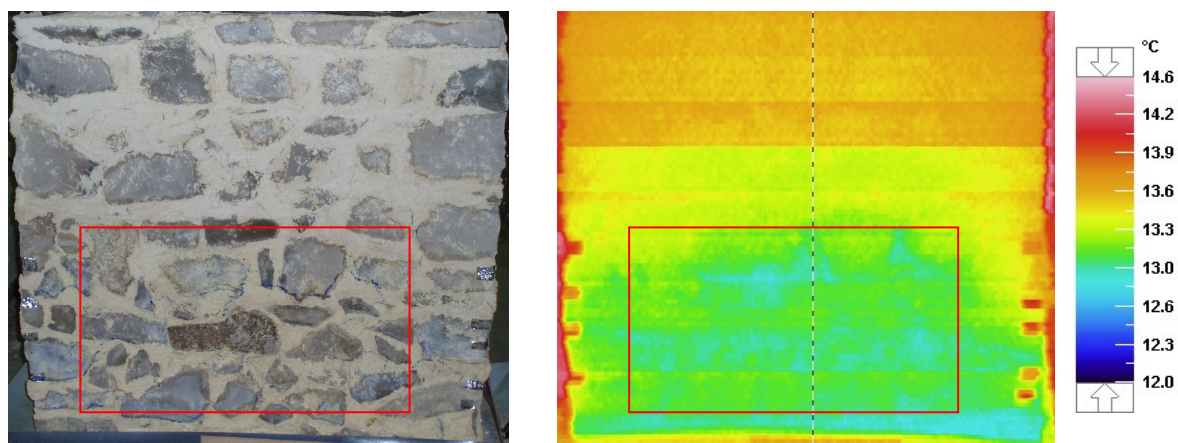


Fig. 15 – Aspecto das heterogeneidades (físicas e térmicas) na zona inferior molhada

Nos últimos termogramas, obtidos em ambas as faces da maqueta (vd. Anexo II, Fig. II.7 e II.8), já não é perceptível qualquer mancha diferenciada que indique a presença de humidade. De referir que as pesagens efectuadas em simultâneo com estes dois últimos termogramas (Quadro 2) revelam que a quantidade de água retida ainda é muito significativa (cerca de 35 kg/m^2).

Refira-se que em pesagens posteriores ao último termograma a maqueta continuou a perder massa. Este facto permite concluir que a existência de sais no seio da parede conduz à retenção de importantes quantidades de água que não são visíveis, quer em observação visual quer com outros métodos como o utilizado (termografia), alterando por completo o equilíbrio higroscópico da parede.

De referir, ainda, que no caso presente da maqueta 2, ao contrário do registado no ensaio realizado sobre a maqueta 1 [2], nunca foi atingida a massa inicial do ensaio, sendo a respectiva massa final superior em cerca de 9 kg , a que correspondiam 20 kg/m^2 .

2.4 – Ensaio complementares

Com o objectivo de tentar compreender o fenómeno da retenção de importantes quantidades de água na maqueta 2 e de identificar a eventual contribuição dos sais presentes na água, foi realizado um novo ensaio de absorção e de secagem com os provetes de pedra e de argamassa em condições de humidade relativa próximas das registadas durante o ensaio de absorção e de secagem da maqueta (60 a 80% HR). Tais provetes foram submetidos à absorção capilar por imersão parcial em água salgada (com 2,7% de NaCl dissolvido) e em água simples, por um período de 24 horas. Após esse

período foram retirados do contacto com o líquido, e procedeu-se à respectiva secagem numa câmara climática, em ambiente controlado de 23°C e 75% HR. Os provetes foram mantidos nestas condições até atingirem massa constante. No Quadro 3 apresentam-se os teores máximos de água absorvida às 24 horas e os teores de água alcançados até ao final da secagem.

A Fig. 16 e a Fig. 17 ilustram o comportamento dos provetes durante a fase de secagem, nas condições acima referidas. Observa-se uma fase de secagem mais lenta para os provetes que foram ensaiados com água salina comparativamente aos provetes que absorveram apenas água. Verifica-se ainda que os provetes com sal atingem o teor de humidade de equilíbrio no ambiente de ensaio (23°C / 75% HR) sem alcançar a massa inicial, o que parece justificar que a maqueta 2 também apresente no final do ensaio, como acima se referiu, uma massa superior à inicial.

Quadro 3 – Teores máximos de água absorvida e após secagem dos provetes em condições ambientes de 23°C e 75% HR .

Absorção	Provetes (dimensões, mm)	Teor máximo de água absorvida em 24 h (% m/m)	Teor de água de equilíbrio a 23°C / 75% HR (%)*
Água	Argamassa de assentamento (40 × 40 × 160)	13,5	0,9
	Argamassa de revestimento (40 × 40 × 160)	13,7	0,4
	Pedra (40 × 40 × 120)	0,7	0,2
Água + sal	Argamassa de assentamento (40 × 40 × 160)	13,5	2,3
	Argamassa de revestimento (40 × 40 × 160)	12,5	2,5
	Pedra (40 × 40 × 120)	1,0	0,4

Obs: * - Após 480 horas desde o início da secagem

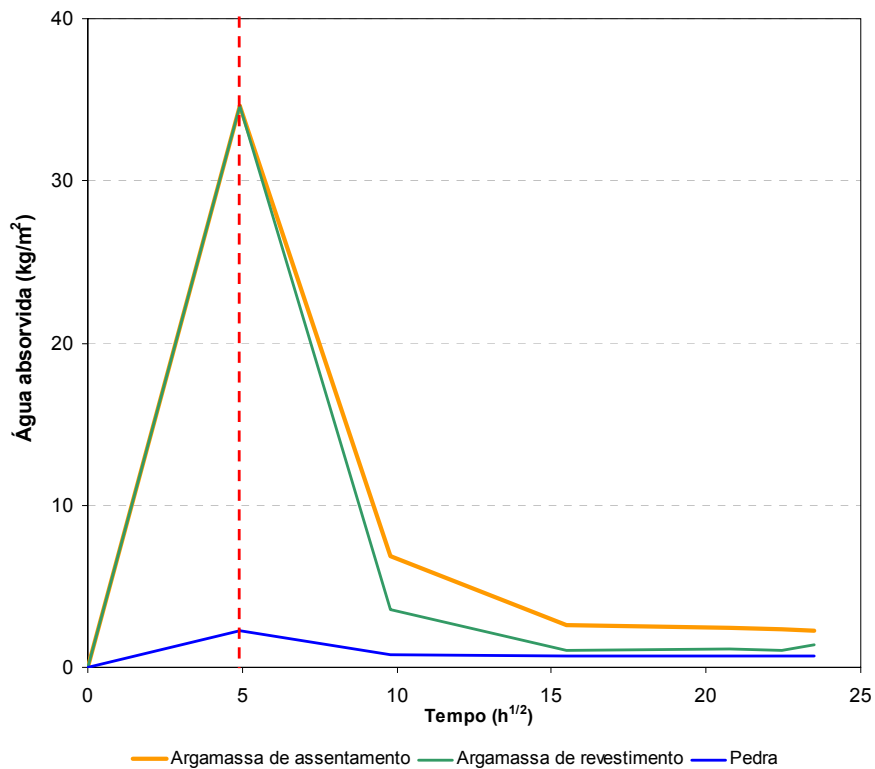


Fig. 16 – Absorção e secagem dos provetes colocados em **água**.
Ambiente de secagem dos provetes: 23°C / 75% HR

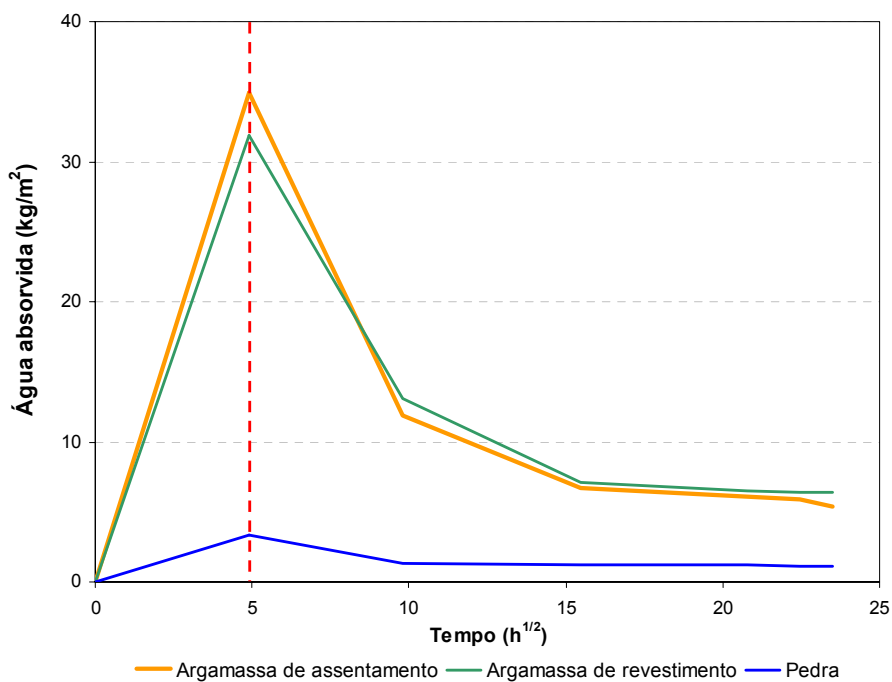


Fig. 17 – Absorção e secagem dos provetes colocados em **água e sal (2,7% m/m)**.
Ambiente de secagem dos provetes: 23°C / 75% HR

3 – CONCLUSÕES

Na continuação do estudo já iniciado com a realização de um ensaio de absorção de água por capilaridade numa maqueta de parede de alvenaria irregular de pedra aglomerada com argamassa de cal [1], realizou-se um ensaio de absorção de água por capilaridade de uma segunda maqueta, revestida numa das faces por um reboco em duas camadas de uma argamassa de cal.

Esta maqueta foi submetida, numa fase inicial, à imersão parcial em água contendo um teor ponderal de cloreto de sódio comparável ao contido na água do mar (2,7% *m/m*) e, em seguida, a um processo de secagem natural num ambiente interior (nave de ensaios). Ao longo de todo o ensaio realizou-se o estudo laboratorial de análise das heterogeneidades térmicas criadas na maqueta ao longo do ensaio.

O anterior ensaio de absorção e de secagem [2] permitiu confirmar alguns aspectos do comportamento à água de paredes deste tipo, nomeadamente, que a absorção e a secagem destas paredes (de alvenaria muito porosa) são bastante rápidas; a fase de secagem é a mais lenta e prolonga-se para além do período em que é visível o humedecimento da parede. Observa-se ainda que a taxa de absorção capilar da parede durante as duas primeiras horas apresenta um valor intermédio entre o valor que caracteriza a pedra e o que caracteriza a argamassa. Por fim, constata-se ainda que a ascensão capilar visível é directamente proporcional à massa de água absorvida.

Estas conclusões sobre o comportamento da parede de alvenaria irregular de pedra com argamassa de cal aérea são limitadas à maqueta ensaiada, devido à sua idade (cerca de 1 ano), pois este período pode não ter permitido a carbonatação completa da argamassa. Contudo, estas conclusões consideram-se, ainda assim, indicativas do comportamento em condições reais e permitirão uma melhor interpretação das observações realizadas em construções reais.

No presente ensaio verificou-se que a existência de sal na água e a sua permanência na parede ao longo de todo o período de secagem implicaram alterações significativas no comportamento da parede e na detecção da humidade utilizando a termografia. A quantidade de água absorvida nesta maqueta foi muito superior à absorvida na maqueta 1, embora o tempo de estabilização tenha sido sensivelmente o mesmo.

Observou-se ainda que a altura atingida pela água foi superior, registando-se uma altura de ascensão maior na face rebocada do que na face não-rebocada. Este facto deve-se à existência de uma das faces revestidas que permitiu um acréscimo de absorção devido à ausência de pedra nesta camada.

Durante o período de secagem, ao contrário do verificado na maqueta 1, o decréscimo de massa não foi linear [2] e nunca foi atingida a massa inicial, verificando-se um acréscimo de massa residual de cerca de 9 kg. Refira-se que se observaram em pesagens posteriores variações da massa total em função de pequenas variações da humidade relativa do ar; este facto pode deve-se à adsorção higroscópica de vapor de água do ambiente, e à sua posterior libertação, em função da humidade de equilíbrio dos sais.

Na realização do estudo de análise das heterogeneidades térmicas criadas na maqueta ao longo do ensaio utilizou-se uma câmara termográfica sensível à radiação infravermelha na gama de 3 μm a 5,4 μm . Este método não-destrutivo de visualização da distribuição das temperaturas superficiais de um objecto permitiu identificar claramente as heterogeneidades térmicas criadas pela absorção capilar de água registada na maqueta submetida a ensaio.

Em resultado das observações termográficas realizadas conclui-se que – à semelhança de estudos anteriores [2] – foi claramente identificada a presença e a distribuição de água no elemento em estudo, especialmente durante a fase de absorção, correspondendo à humidificação observada visualmente.

Durante a fase de secagem, como seria de esperar, o arrefecimento superficial evaporativo possibilitou também identificar termograficamente a presença da água. No entanto, o período durante o qual foi possível a identificação termográfica da humidade presente na maqueta 2 (144 h) foi bastante inferior ao observado no estudo anterior (360 h). Verifica-se que, quando já não é possível detectar termograficamente qualquer vestígio de humidade (Fig. II.7 e II.8), a redução da quantidade de água absorvida registada foi apenas de cerca de 20% (Quadro 2).

A restante humidade presente na maqueta não visível através de observação termográfica é retida no interior da parede devido à presença de sais alterando por completo o equilíbrio higroscópico da parede.

Este facto leva a concluir que a existência de sais em paredes permite a retenção de importantes quantidades de água que não são visíveis, quer em observação visual quer com o método utilizado (termografia), alterando por completo o equilíbrio higroscópico da parede.

Comparando os resultados deste estudo com os obtidos em estudos anteriores, salienta-se o facto de a diferença máxima de temperatura registada entre as zonas molhada e "seca" da maqueta ensaiada ter sido 0,7°C (início da fase de secagem), cerca de metade do valor observado na maqueta 1 [2] e bastante inferior ao valor máximo (cerca de 4°C) obtido num estudo anterior [8].

As semelhanças e as diferenças indicadas poderão ser devidas quer às quantidades de água absorvida pelos provetes já ensaiados quer à influência das condições ambientes (temperatura, velocidade do ar e humidade relativa) existentes durante os vários ensaios já realizados, e ainda devido à existência de sais higroscópicos no interior da parede.

Os resultados positivos obtidos no presente trabalho levam a que se dê continuação ao estudo da aplicação da análise termográfica neste domínio, quer em laboratório quer in situ. Além de outros ensaios já previstos, será interessante explorar a utilização controlada de métodos activos de aquecimento uniforme da superfície das maquetas ou da parede à escala real, construídas no âmbito do presente estudo.

De um modo geral, estes ensaios permitiram obter parâmetros relacionados com o comportamento à água de paredes de pedra irregular aglomerada com argamassa de cal, com e sem reboco, incluindo a condição de presença de sais solúveis nas fundações.

A análise e a ampliação destes resultados obtidos em maquetas de parede em laboratório deverão permitir uma interpretação mais fundamentada e segura de ensaios a realizar em obra com este método, tomando em atenção as novas limitações que poderão decorrer da existência de compostos como sais que poderão necessitar, para um correcto diagnóstico, da complementaridade de outros ensaios.

VISTOS

O Chefe do Núcleo de
Revestimentos e Isolamentos



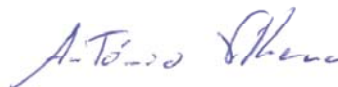
Jorge Grandão Lopes

O Director do Departamento
de Edifícios

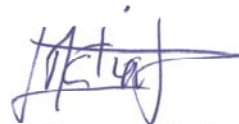


José A. Vasconcelos Paiva

AUTORIA



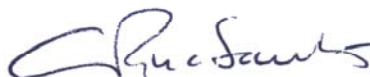
António Vilhena
Eng.º Civil, Assistente de Investigação



Luís Manuel Matias
Físico Tecnológico, Assistente de Investigação



Ana Cristian Magalhães
Eng.ª Civil, Bolseira de Investigação



C. A. Pina dos Santos
Eng.º Civil, Investigador Principal



Maria do Rosário Veiga
Eng.ª Civil, Investigadora Principal

BIBLIOGRAFIA

- 1 – SANTOS, C.; VEIGA, M. do Rosário; VILHENA, A.; MAGALHÃES, A.; MATIAS, L. — *Desenvolvimento de metodologias para a avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas*. Comunicação apresentada ao Congresso CONSTRUÇÃO 2004. Porto : FEUP, Dezembro de 2004.
- 2 – MATIAS, Luís, MAGALHÃES, Ana Cristian; VILHENA, A. *et al.* – *Ensaios de capilaridade e análise termográfica para visualização da secagem de um murete de alvenaria de pedra*. Lisboa : LNEC, Janeiro de 2007. Relatório n.º 22/2007-NRI.
- 3 – SANTOS, C.; MATIAS, L. — *Aplicação laboratorial da análise termográfica para visualização da absorção de água e da secagem de uma parede de alvenaria de blocos de betão de argila expandida*. Lisboa : LNEC, Fevereiro de 2003. Relatório n.º 37/2003-NRI.
- 4 – ROSINA, E.; ROSI, L. — *Optimal Conditions to Detect Moisture in Ancient Buildings. Study Cases from Northern Italy*. Thermosense XX, Orlando (USA), Abril de 1998.
- 5 – GRINZATO, E.; ROSINA, E. — *Infrared and Thermal Testing for Conservation of Historic Building, Non Destructive Testing Handbook, 3º Edition, vol.3.* (OH) USA: Infrared and Thermal Testing ASNT Columbus, Abril 2001.
- 6 – MATIAS, L. — *Aplicação da análise termográfica em edifícios antigos na Amieira do Tejo e em Viana do Alentejo (Projecto n.º POCTI/ECM/46323/2002)*. Lisboa : LNEC, Setembro de 2004. Relatório n.º 270/2004-NRI.
- 7 – MATIAS, L. — *Aplicação da análise termográfica em edifícios antigos em Viana do Alentejo (Projecto n.º POCTI/ECM/46323/2002) – 2ª campanha experimental*. Lisboa : LNEC, Janeiro de 2006. Relatório n.º 74/2006-NRI.
- 8 – SANTOS, C. — *Aplicação laboratorial da análise termográfica para visualização da absorção capilar e da secagem de um provete de parede de betão celular autoclavado*. Lisboa : LNEC, Janeiro de 2002. Relatório n.º 05/2002-NCCT.
- 9 – SANTOS, C.; MATIAS, L. — *Aplicação laboratorial da análise termográfica para visualização da absorção capilar e da secagem de um provete de parede de alvenaria de tijolo cerâmico furado*. Lisboa : LNEC, Abril de 2002. Relatório n.º 144/2002-NCCT.

- 10– VELOSA, A. L.; VEIGA, M. do Rosário - *Development of artificial ageing tests for renders – application to conservation mortars*. In Proceedings of 7th International Masonry Conference, London, Novembro de 2006.
- 11– BARREIRA E.; FREITAS, V. – *Evaluation of building materials using infrared thermography*. Construction and Building Materials, n.º 21 (2007). p. 218-224.
- 12– SANTOS, C.; MAGALHÃES, A.; MATIAS, L.; VEIGA, M. do Rosário — *Aplicação laboratorial de técnicas termográficas e de ultra-sons na deteção de descolamentos localizados dos revestimentos numa parede de alvenaria de blocos de betão de argila expandida*. Lisboa : LNEC, Abril de 2003. Relatório n.º 88/2003-NRI.
- 13– PINA, C.; MATIAS, L. – *Application of thermography for moisture detection. A laboratory research study*. In Proceedings of XXX IAHS World Housing Congress, Coimbra, Setembro de 2002.
- 14– PINA, C.; MATIAS, L.; MAGALHÃES, A.; VEIGA, R. – *Application of thermography and ultra-sounds for wall anomalies diagnosis a laboratory research study*. In Proceedings of International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering 2003 (NDT-CE), Berlim, 16 a 19 de Setembro de 2003.

**ANEXO I – TERMOGRAMAS E FOTOGRAFIAS DURANTE
O ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE**

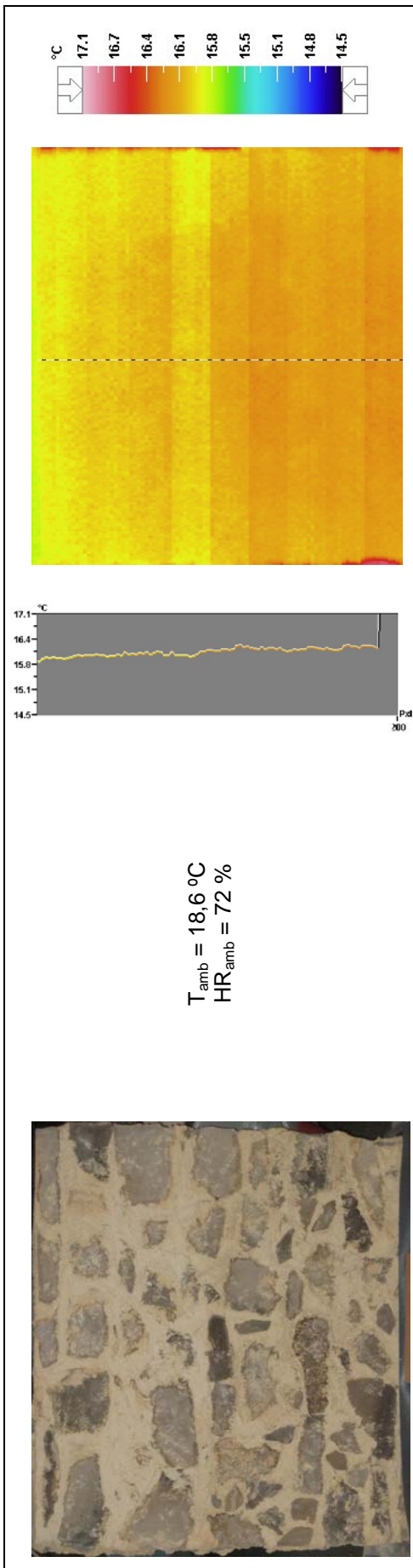


Fig. I.1 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maquete antes do início do ensaio de capilaridade ($t = 0 \text{ h}$)

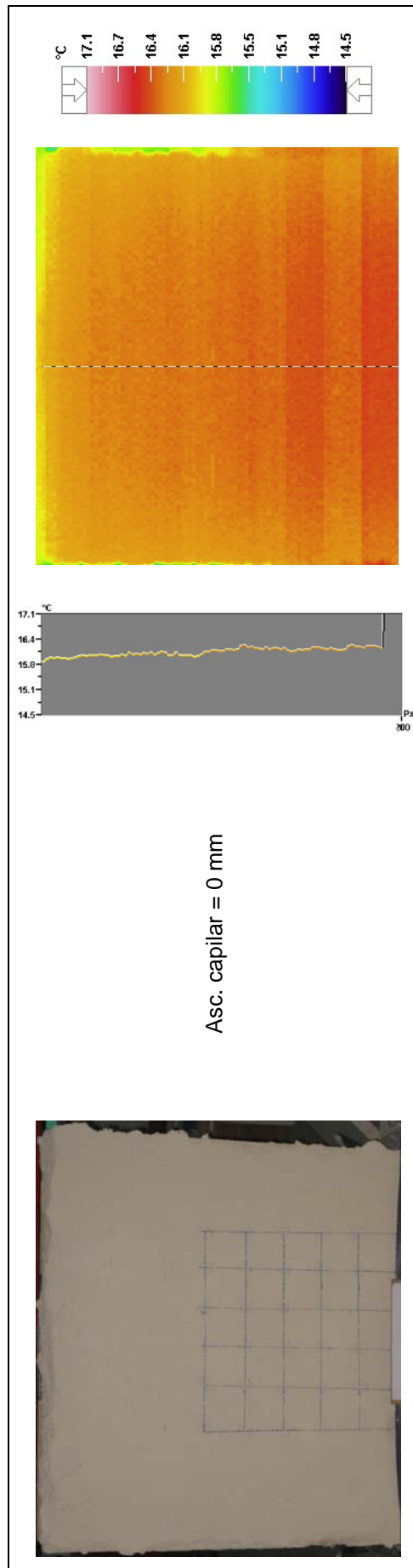


Fig. I.2 – Fotografia e termograma da face rebocada da maquete antes do início do ensaio de capilaridade ($t = 0 \text{ h}$)

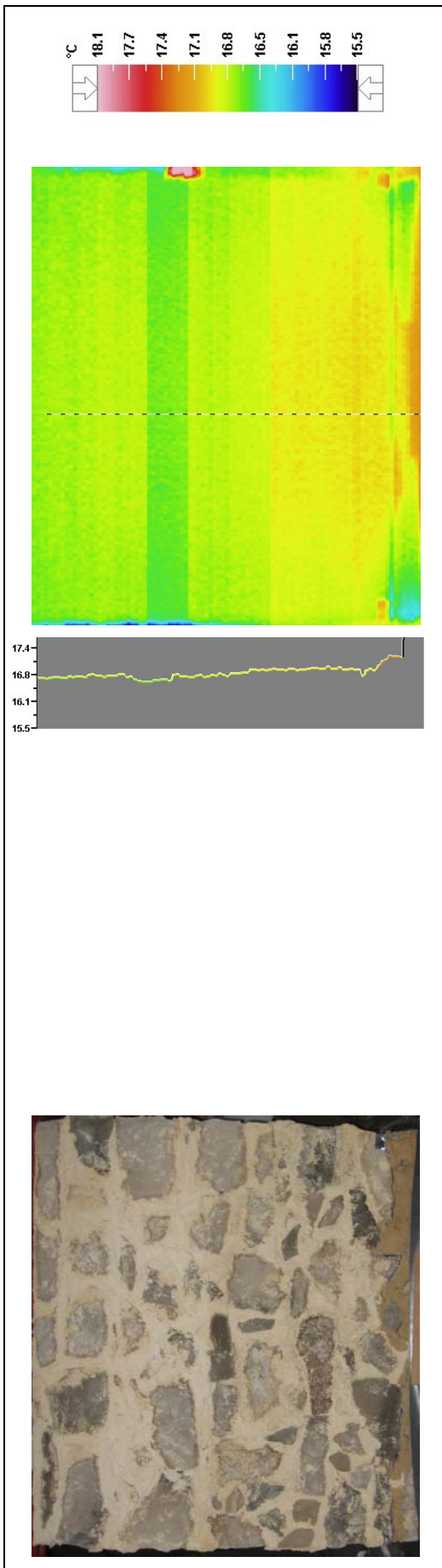


Fig. I.3 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta após 3 h de ensaio

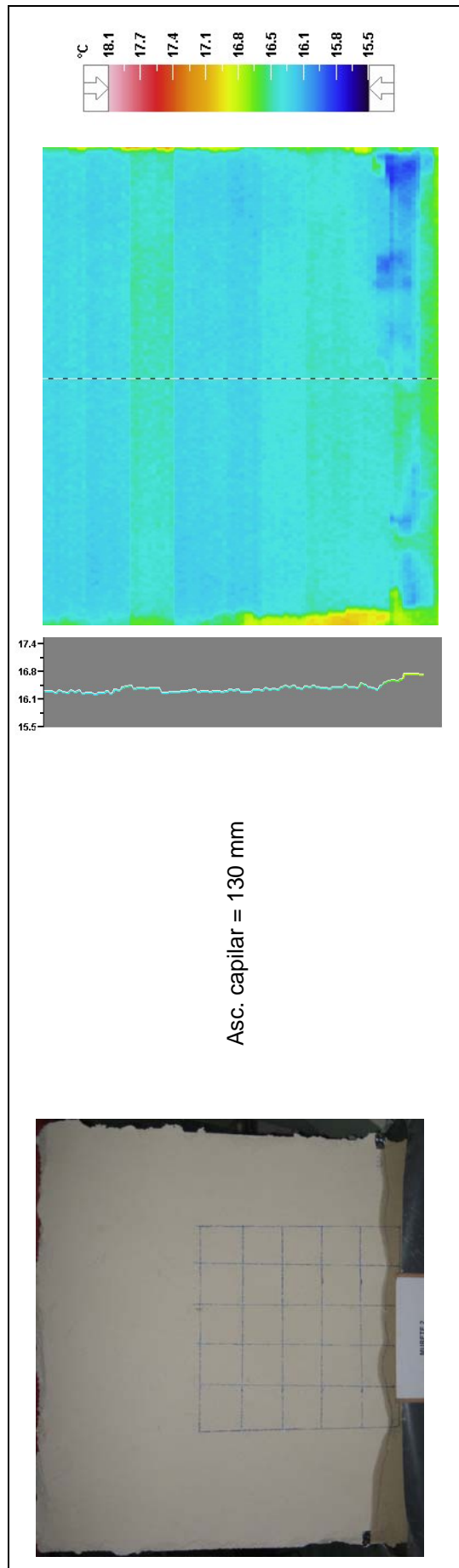


Fig. I.4 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta após 3 h de ensaio

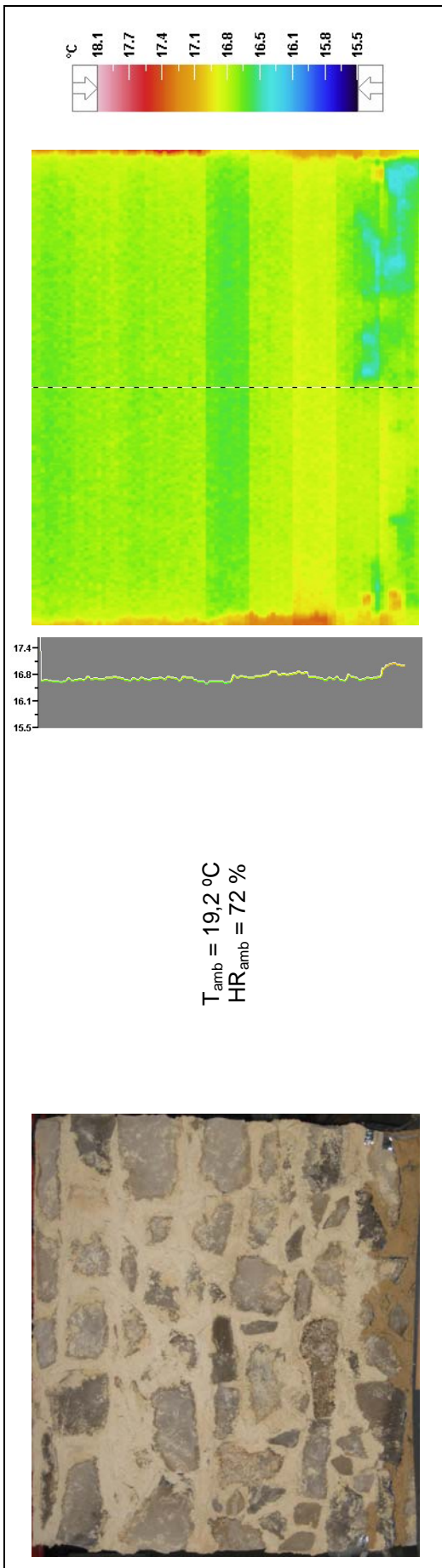


Fig. I.5 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maqueta após 7 h de ensaio

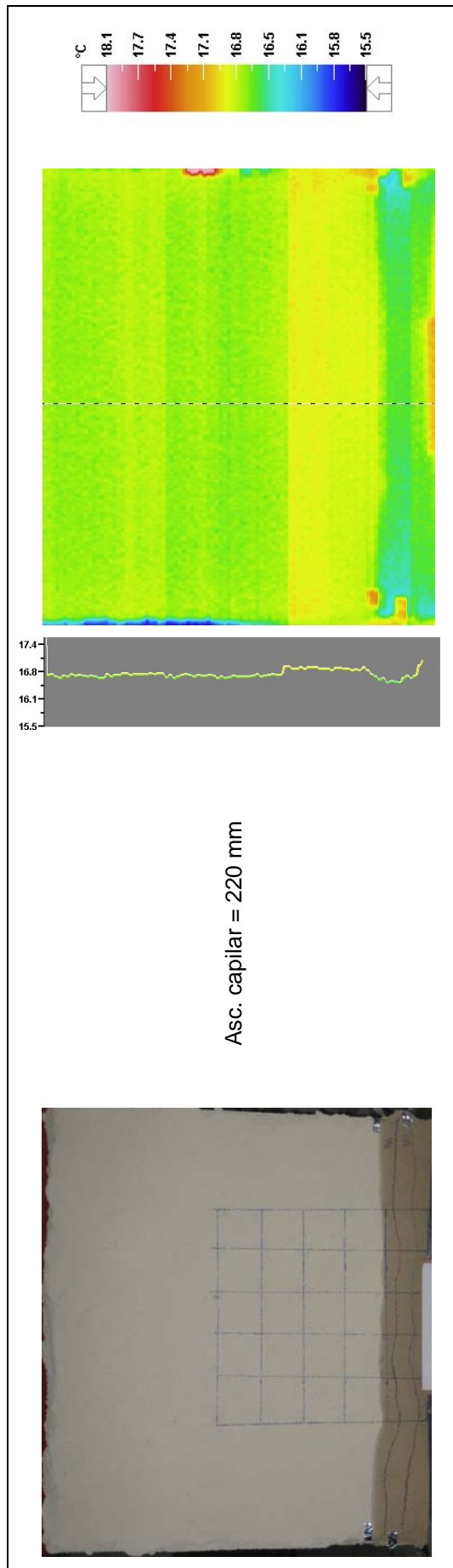


Fig. I.6 – Fotografia e termograma da face rebocada da maqueta após 7 h de ensaio

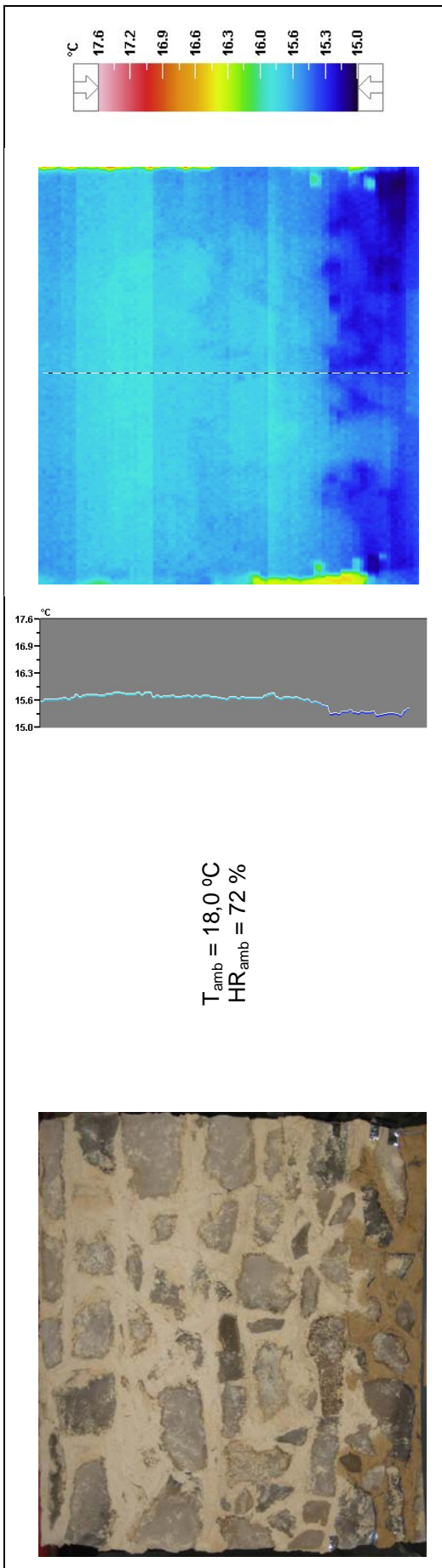


Fig. I.7 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maquete após 24 h de ensaio

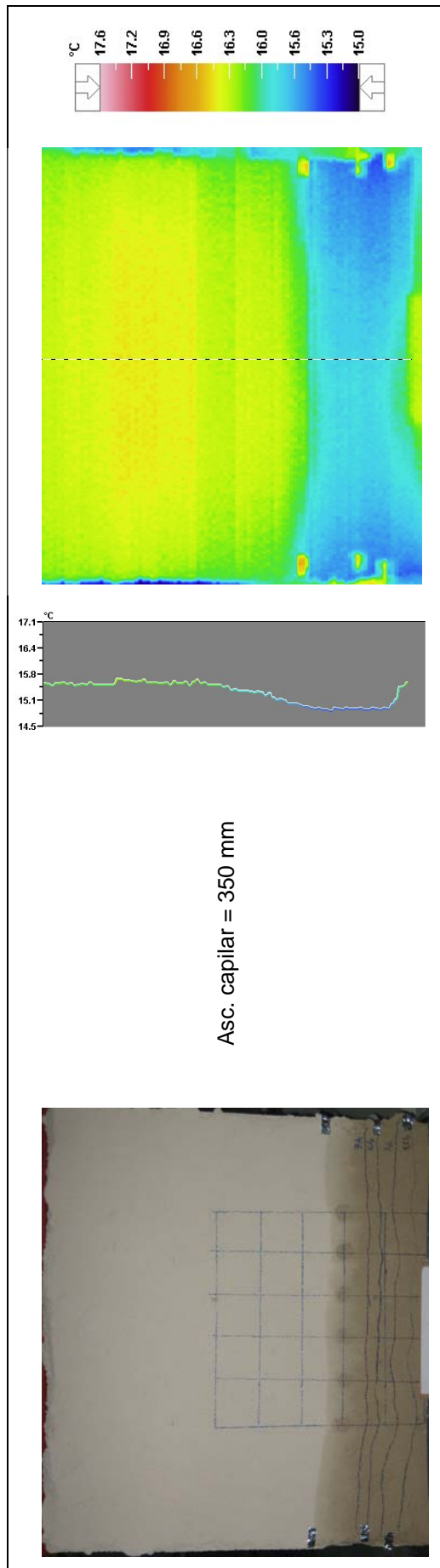


Fig. I.8 – Fotografia e termograma da face rebocada da maquete após 24 h de ensaio

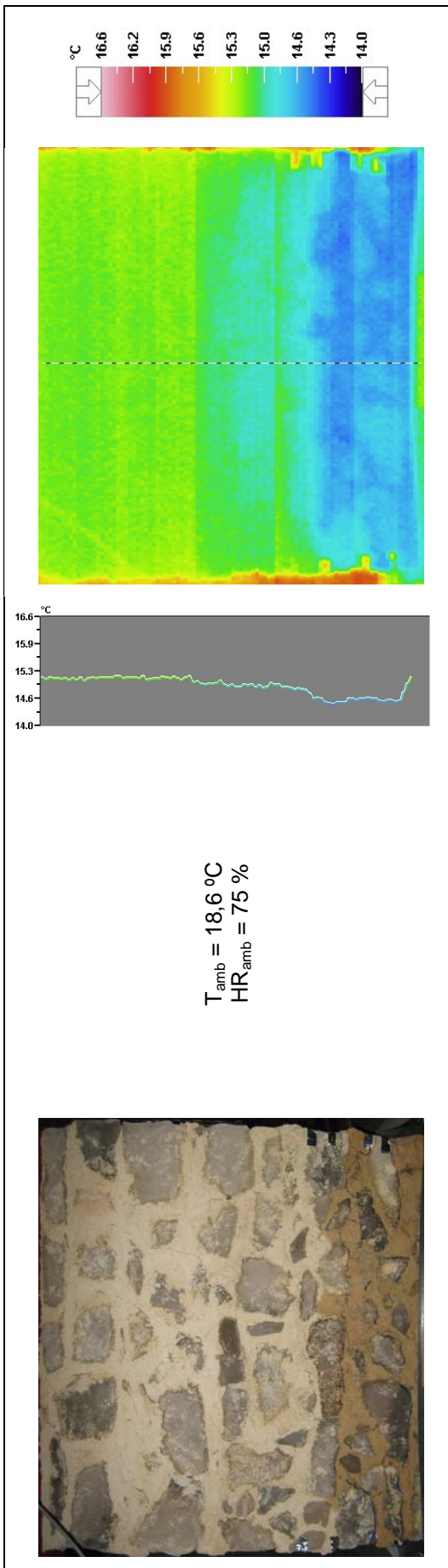


Fig. I.9 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maquete após 48 h de ensaio

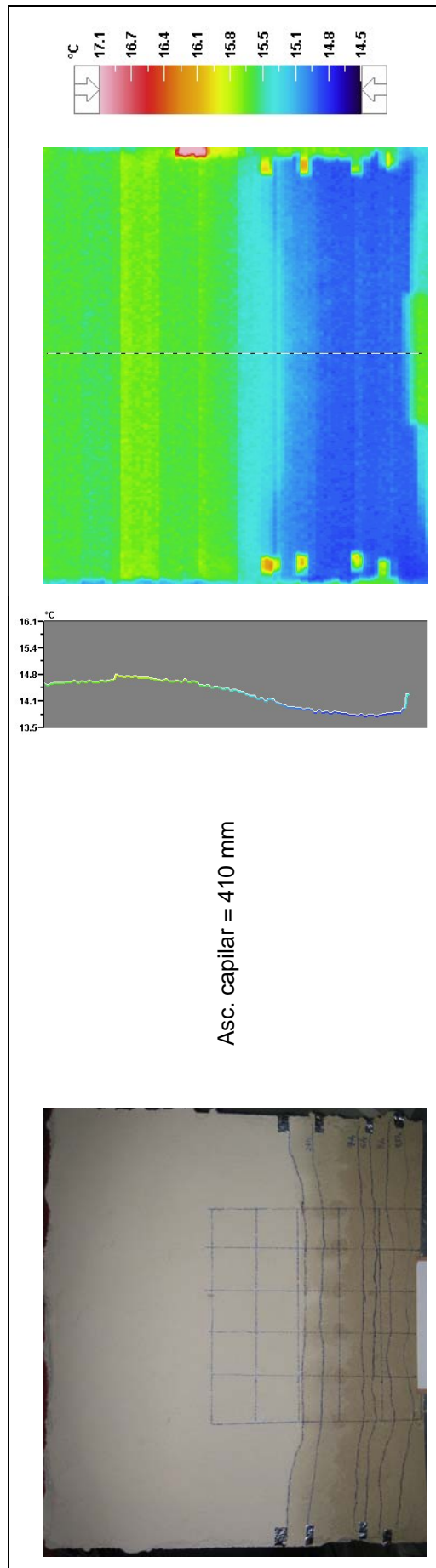


Fig. I.10 – Fotografia e termograma da face rebocada da maquete após 48 h de ensaio

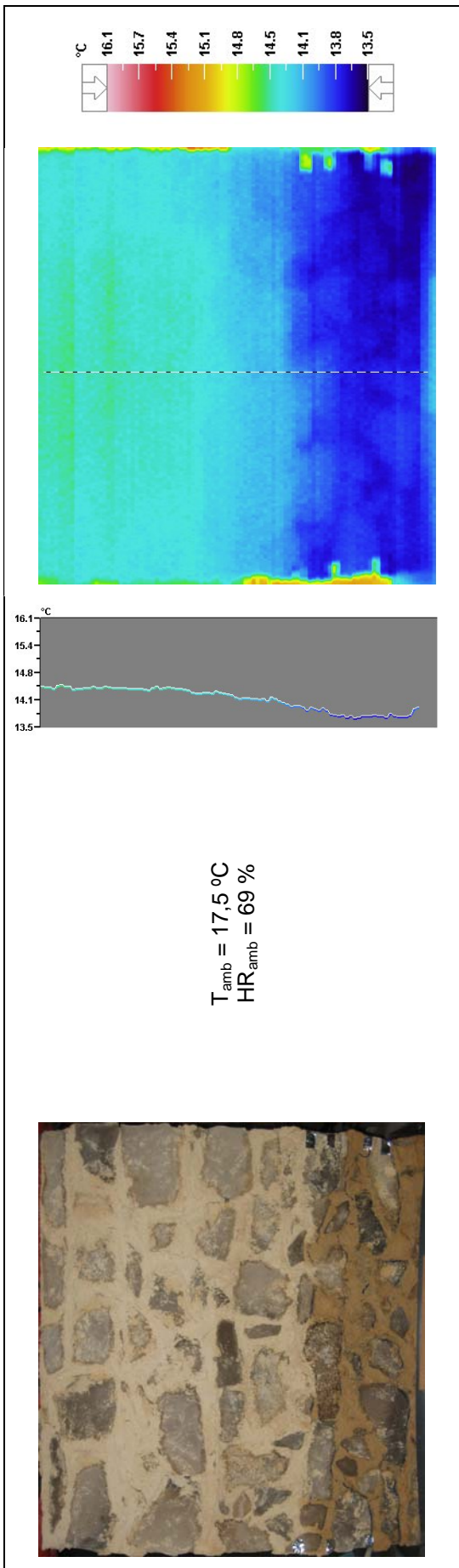


Fig. I.11 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maquete após 96 h de ensaio

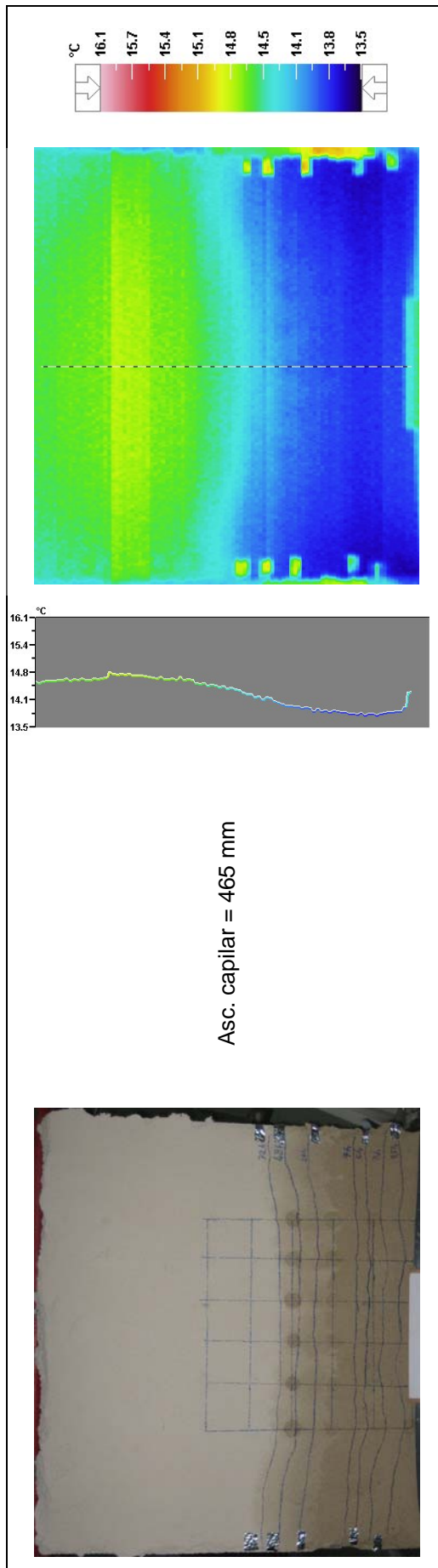


Fig. I.12 – Fotografia e termograma da face rebocada da maquete após 96 h de ensaio

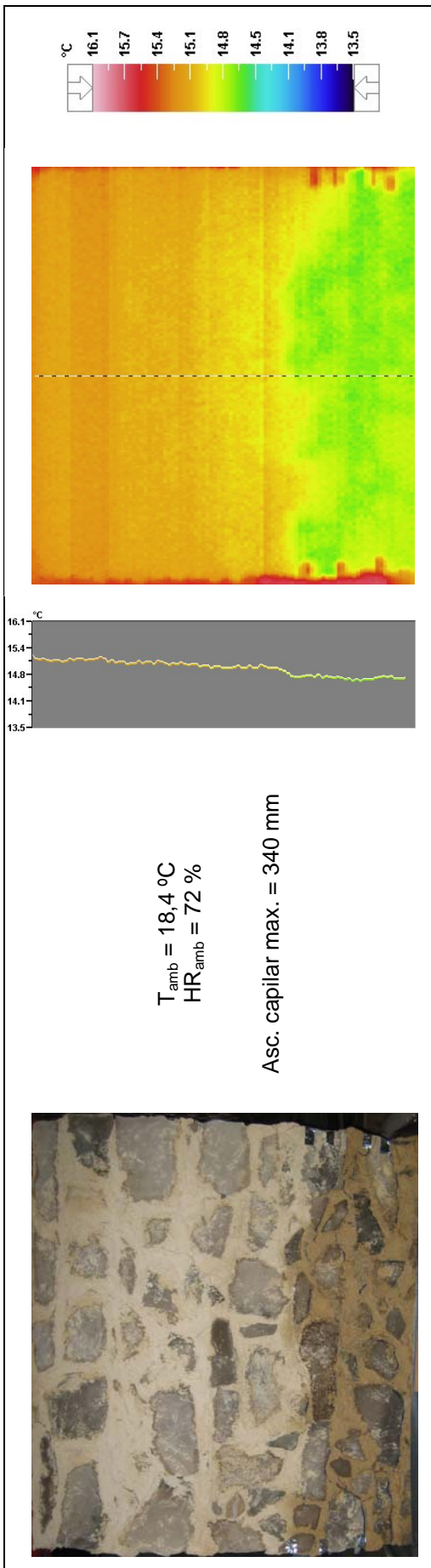


Fig. I.13 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maquete após 168 h de ensaio

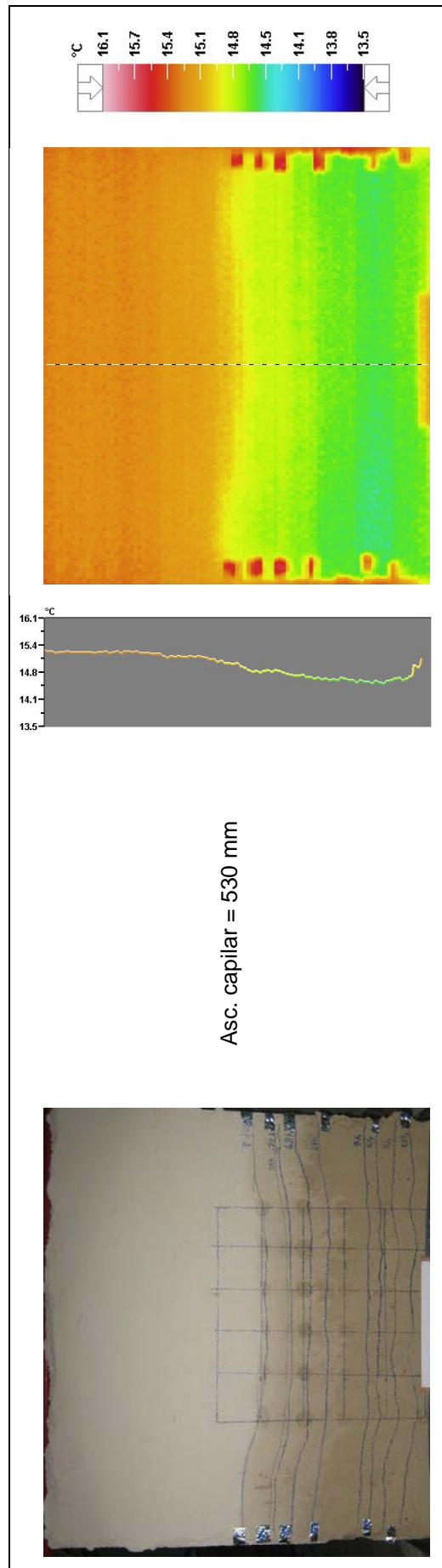


Fig. I.14 – Fotografia e termograma da face rebocada da maquete após 168 h de ensaio

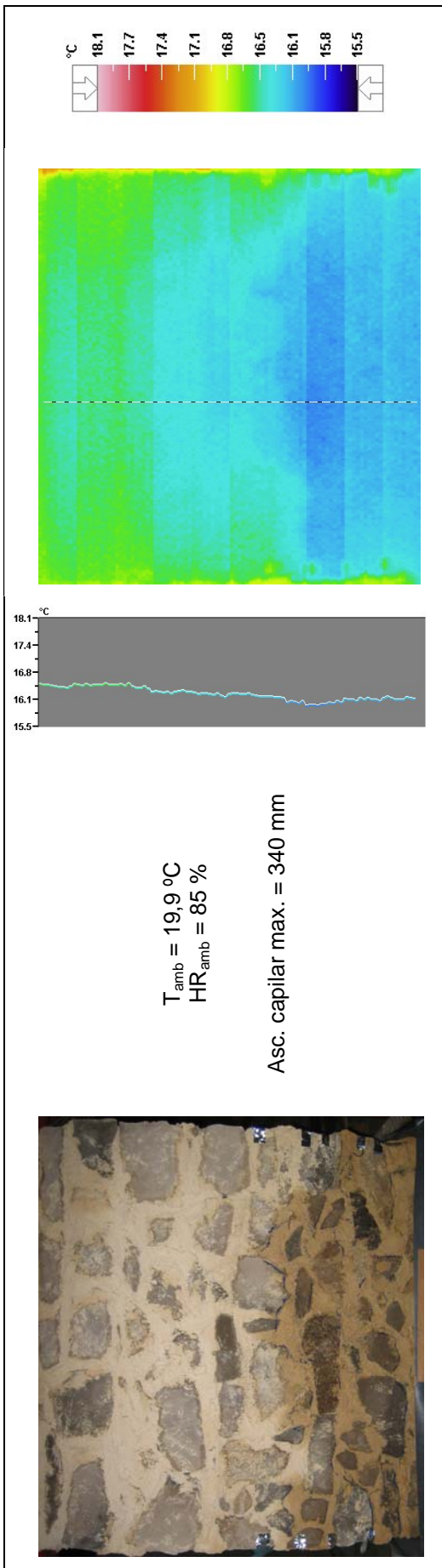


Fig. I.15 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maquete após 264 h de ensaio

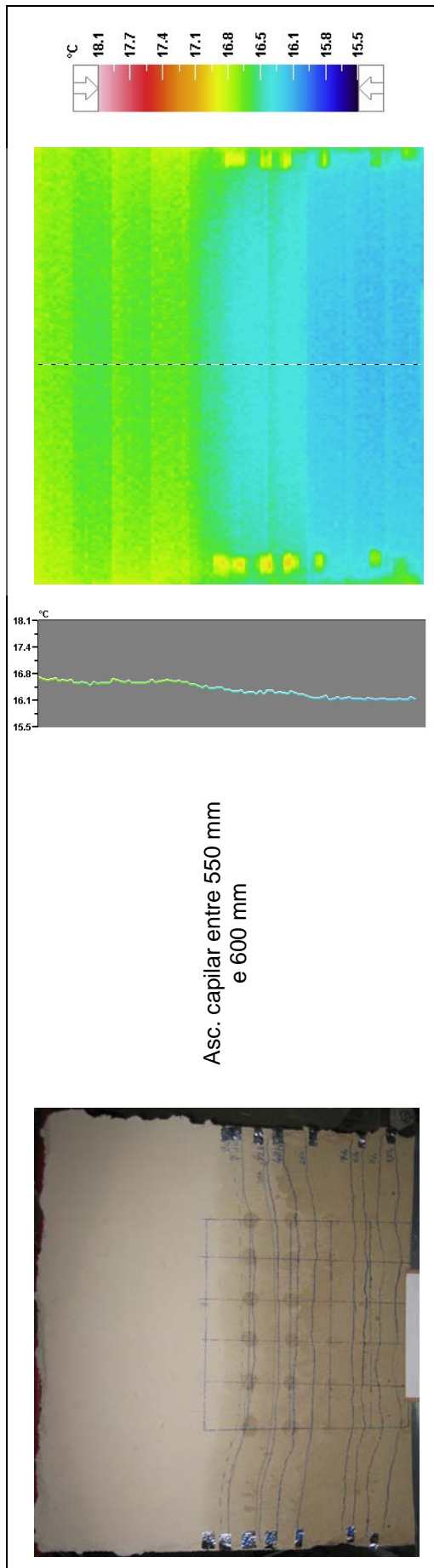


Fig. I.16 – Fotografia e termograma da face rebocada da maquete após 264 h de ensaio

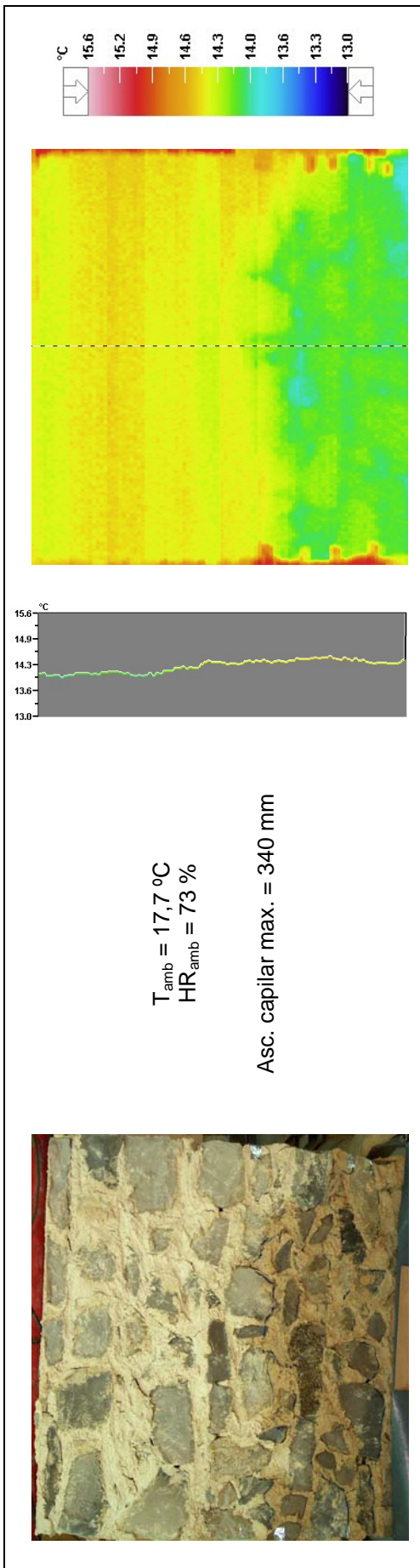


Fig. I.17 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maquete no final do ensaio de capilaridade (t = 360 h)

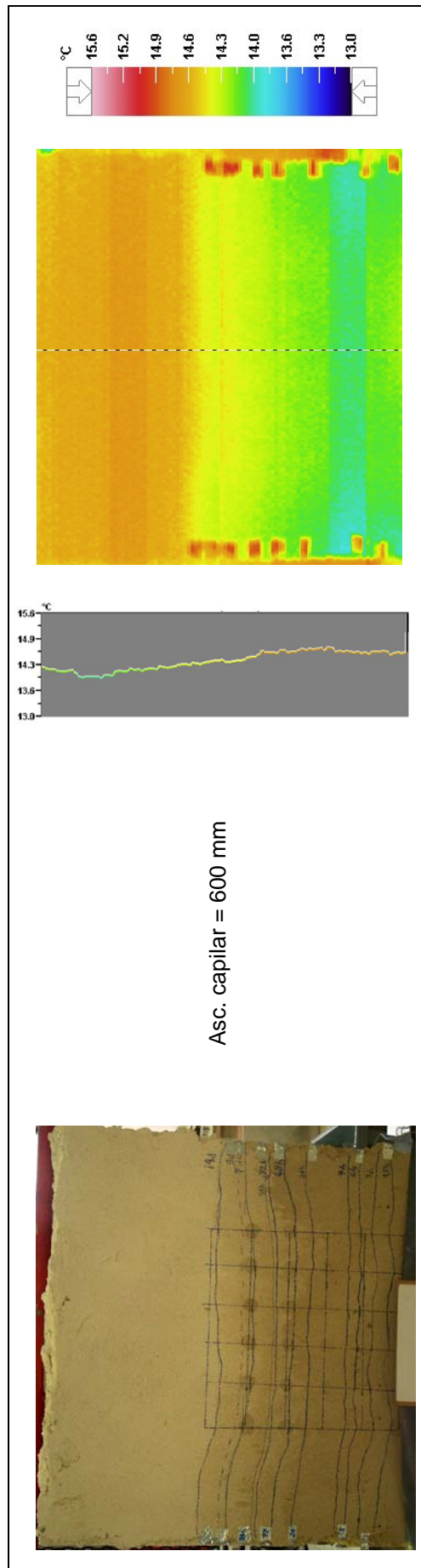


Fig. I.18 – Fotografia e termograma da face rebocada da maquete no final do ensaio de capilaridade (t = 360 h)

**ANEXO II – TERMOGRAMAS E FOTOGRAFIAS
DURANTE A FASE DE SECAGEM**

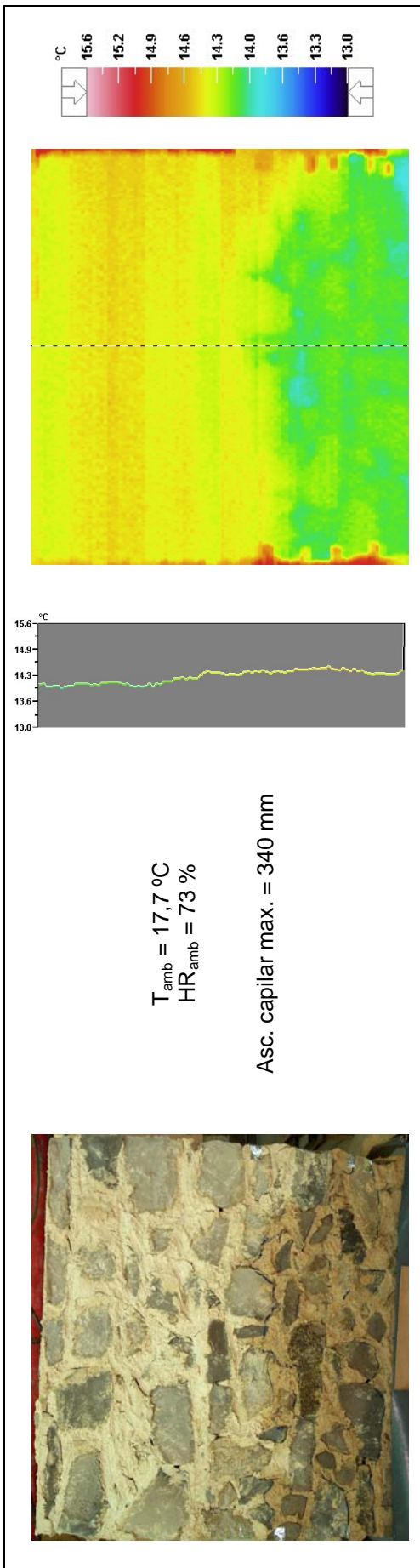


Fig. II.1 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maquete no início de período de secagem (t = 360 h)

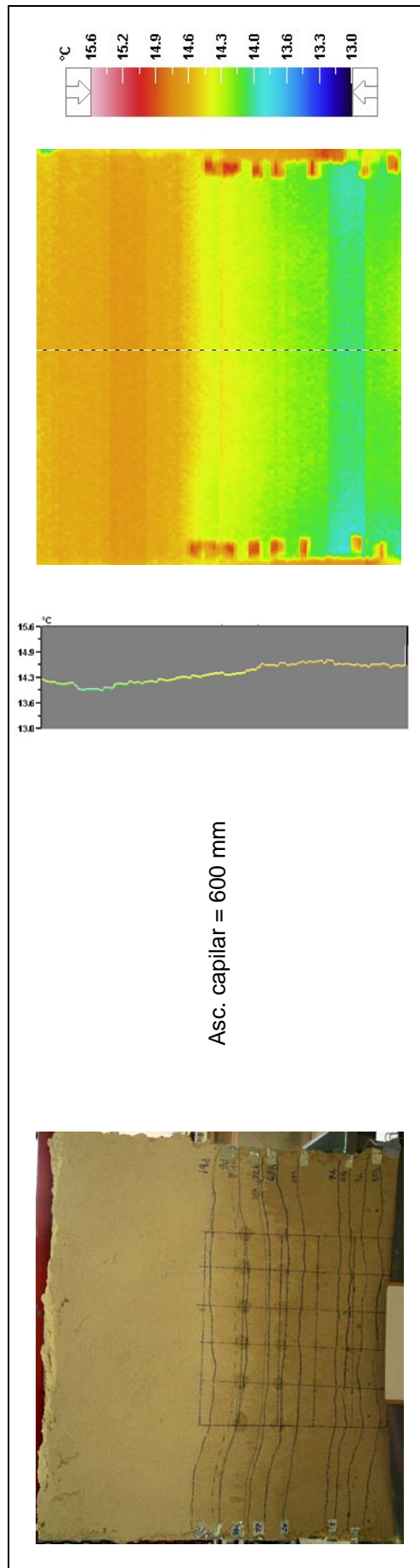


Fig. II.2 – Fotografia e termograma da face rebocada da maquete no início de período de secagem (t = 360 h)

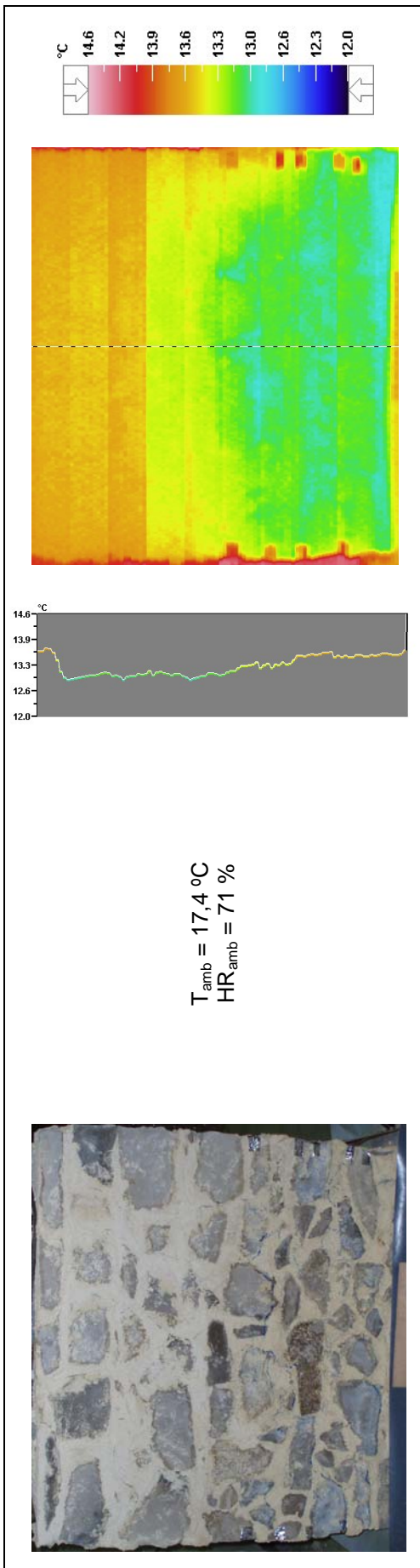


Fig. II.3 – Fotografia e termograma da face não-rebocada da maquete após 411 h de ensaio

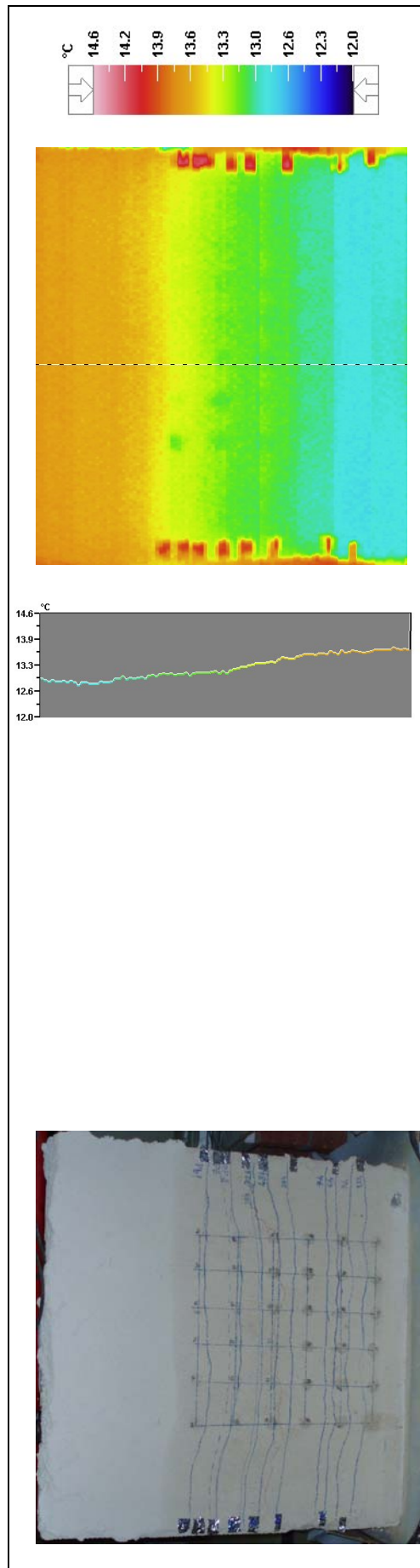


Fig. II.4 – Fotografia e termograma da face rebocada da maquete após 411 h de ensaio

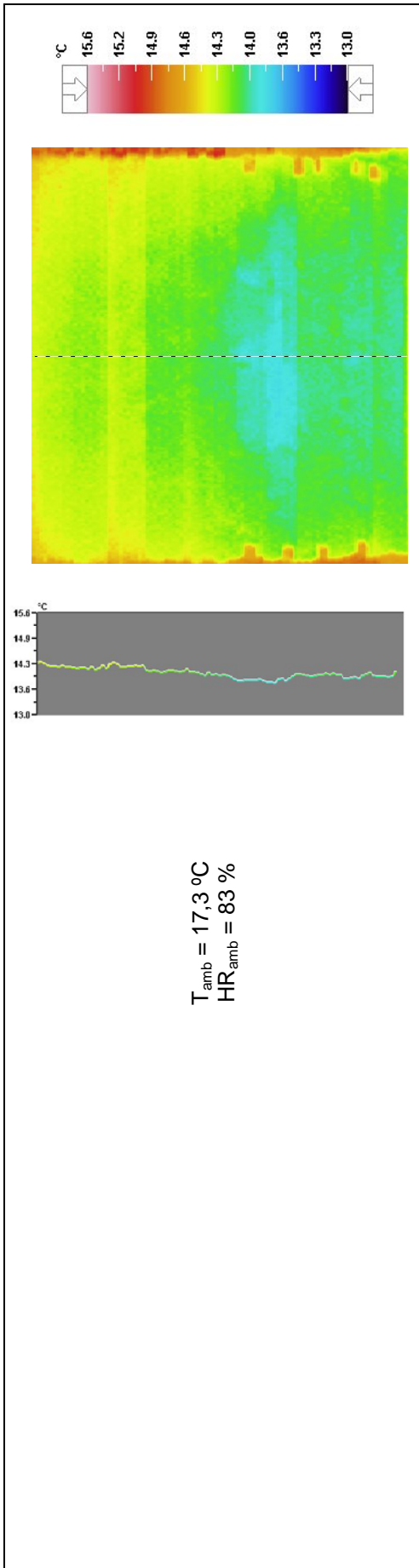


Fig. II.5 – Termograma da face não-rebocada da maqueta após 504 h de ensaio

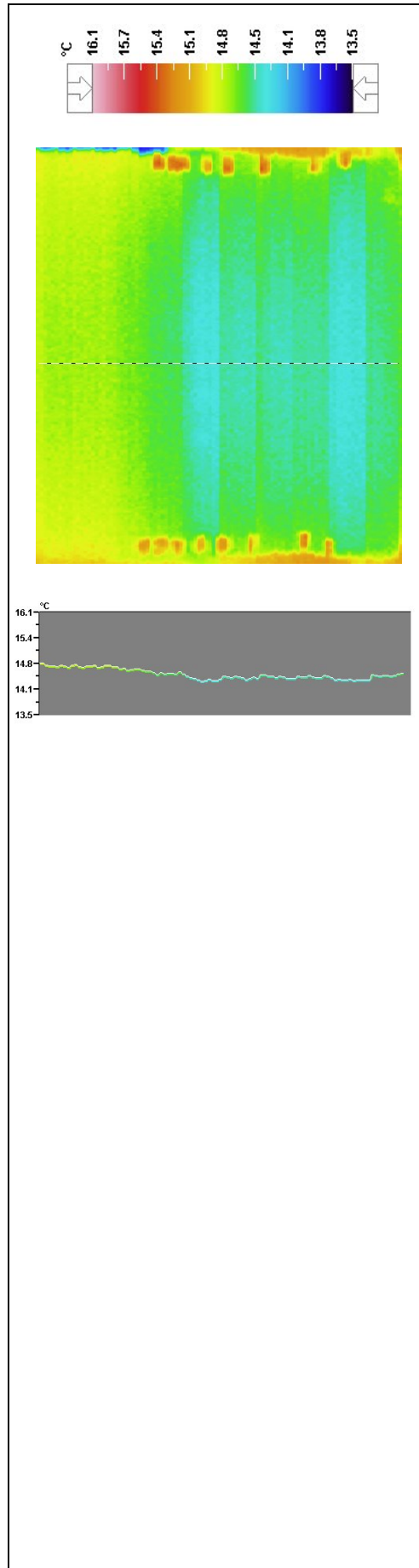


Fig. II.6 – Termograma da face rebocada da maqueta após 504 h de ensaio

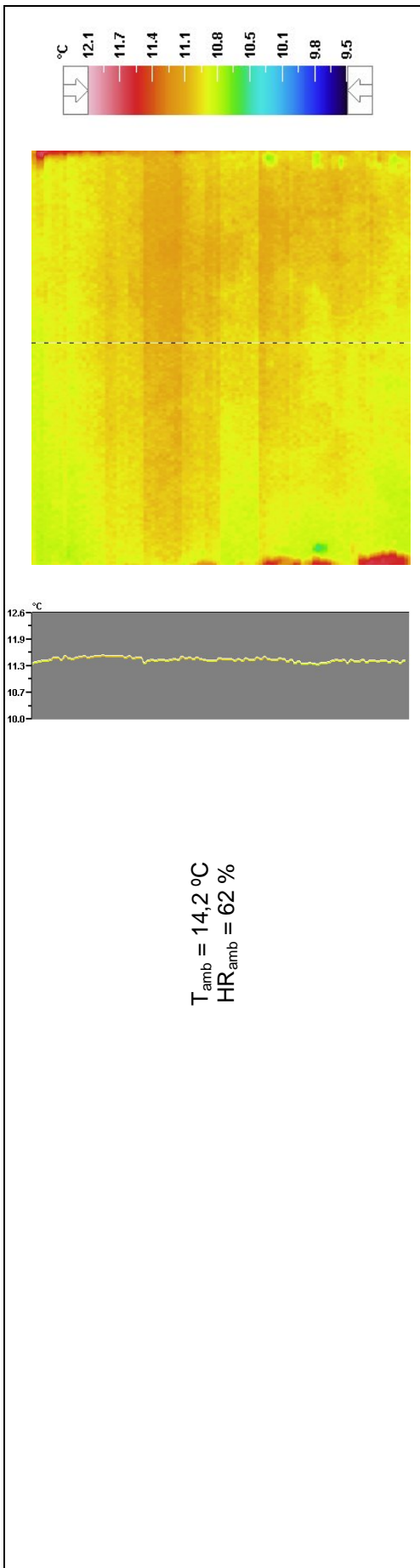


Fig. II.7 – Termograma da face não-rebocada da maquete após 744 h de ensaio

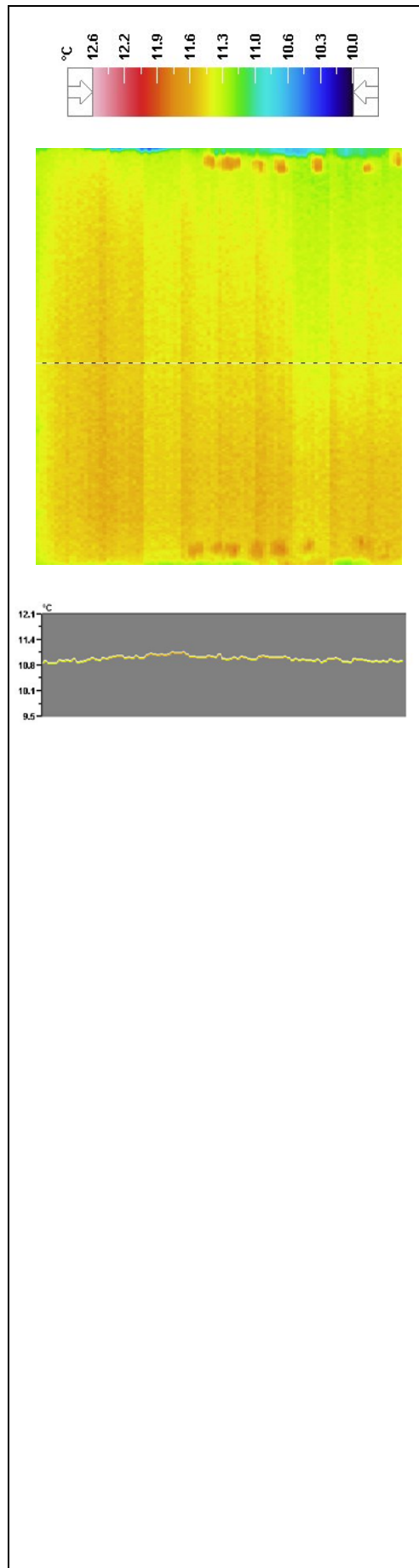


Fig. II.8 – Termograma da face rebocada da maquete após 744 h de ensaio

