



**Carlos Emanuel
Jesus Madalena
Parracho**

**Estudo do comportamento térmico de
construções em alvenaria de adobe**



**CARLOS EMANUEL
JESUS MADALENA
PARRACHO**

**Estudo do comportamento térmico de
construções em alvenaria de adobe**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar e co-orientação do Doutor Aníbal Guimarães da Costa, Professor Catedrático, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

À minha mulher e família pelo incansável apoio.

o júri

presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim

professor associado e director do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António José Barbosa Samagaio

professor associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente

professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa

professor catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

A árdua realização de uma dissertação mostra que mesmo nas horas de tristeza e desânimo alguém se interessa por nós e está pronto a ajudar, de modo a que o resultado final seja apenas a alegria e a esperança num futuro melhor.

Para sempre fica o meu reconhecimento e profunda gratidão:

Aos meus orientadores científicos Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente e Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa, pela compreensão, apoio e valiosas contribuições para o trabalho.

Ao Prof. Doutor Humberto Salazar Amorim Varum, pelo interesse sempre demonstrado.

Ao Eng. António Figueiredo, que desde a primeira hora se disponibilizou para acompanhar, ajudar e motivar.

À equipa do laboratório do Departamento de Engenharia Civil, nomeadamente a sua responsável técnica, Eng. Maria Carlos Figueiredo, e o Vítor Rodrigues, pelo apoio técnico, saber e disponibilidade demonstrada.

Ao Instituto da Construção, FEUP pela sempre importante ajuda financeira.

Ao Eng. Tiago Silva, sempre disponível para ajudar nos trabalhos de instrumentação e monitorização.

Ao Prof. Doutor Alfredo Moreira Caseiro Rocha do Departamento de Física da Universidade de Aveiro, pelo fornecimento dos dados climáticos ao longo da realização deste trabalho. Ainda neste Departamento, uma palavra de apreço para o Mestre Tiago Luna e Sr. Ivo Mateus, pela disponibilidade sempre demonstrada.

À Ana Cláudia Bernardes Parracho, pela preciosa ajuda no tratamento dos dados climáticos.

Ao Eng. Fernando Manuel da Costa Mendes, da Savec, Lda., por todo incentivo, saber e disponibilidade.

A todos os meus familiares que diariamente convivem comigo, em especial a minha mulher e filhos, pela paciência, compreensão e incentivo.

Finalmente, um agradecimento muito especial ao Eng. Paulo Alexandre Cardadeiro Lopes, ex-aluno do Departamento de Engenharia Civil, pela ajuda, apoio, incentivo e tudo o mais que a amizade proporciona.

A todos o meu muito obrigado.

palavras-chave

Adobe, comportamento térmico, sustentabilidade da construção.

resumo

A terra crua é o material de construção mais antigo do mundo, o adobe foi utilizado especialmente nas regiões quentes e secas, mas com o advento da industrialização no século XVIII e posterior expansão mundial no século XIX, as técnicas em arquitectura de terra foram aos poucos, sendo abandonadas, sendo substituídas por materiais considerados mais “nobres”, como o betão, o aço e a alvenaria de tijolo cerâmico cozido.

A construção em alvenaria de adobe, quando bem executada, torna-se muito resistente, e o seu interior muito fresco, suportando muito bem as altas temperaturas. Em regiões de clima quente e seco as amplitudes térmicas são muito grandes, com situações de calor intenso durante o dia e muito frio durante a noite, pelo que a inércia térmica garantida pelo adobe minimiza esta variação térmica no interior da construção.

São apresentados os resultados de uma campanha experimental realizada durante o Verão em três células de teste de adobe, com diferentes características e à escala $\frac{1}{4}$ do real.

Um novo olhar da arquitectura e engenharia sobre a sustentabilidade da construção, não pode deixar de parte esta técnica construtiva pois a esse nível não existe outro material que potencie tão baixo impacte ambiental como o adobe, uma vez que para a sua execução é necessária uma muito baixa incorporação de energia o que consequentemente se traduz em baixas emissões de gases de efeito estufa.

keywords

Adobe, thermal performance, sustainability of the construction industry.

abstract

Earth is the oldest building material in the world, adobe masonry was used especially in the hot and dry regions of the globe, but with the beginning of the industrialization in the XVIII century and consequent world expansion in the following century, these earth based architectural techniques have been slowly abandoned and replaced by the so called noble materials, such as concrete, steel and masonry of ceramic bricks.

The buildings constructed with adobe masonry, when properly built, become very tough and its inside very chill, supporting high temperatures very well. In regions with hot and dry climate there are large variations of temperature, with intense heat during the day and very cold temperatures at night. The thermal inertia granted by adobe masonry reduces those variations inside the building to a minimum.

The results of an experimental campaign carried out during the summer, with three test cells in adobe masonry, with different characteristics and at a quarter of the real scale, are presented in this work.

A new view of architecture and engineering over sustainability in the construction industry, can't leave aside this building technique because in this matter there is no other material that has smaller environmental impact than adobe, because of its low levels of energy needs, and therefore its low levels of harmful gases emissions (like greenhouse gases).

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	viii
1. ENQUADRAMENTO, OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .3	
1.1 Enquadramento.....	3
1.2 Objectivos	4
1.3 Organização da Dissertação	5
2. CONSTRUÇÕES DE TERRA	9
2.1 Introdução	9
2.2 Construções em Alvenaria de Adobe em Portugal.....	11
2.3 Função da Alvenaria.....	15
2.4 A Alvenaria de Adobe e a Sustentabilidade da Construção	16
2.5 Potencialidades e Fragilidades da Alvenaria de Adobe	19
3. COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS.....	23
3.1 Legislação em vigor	23
3.2 Formas de Propagação do Calor.....	24
3.3. Inércia Térmica	26
3.4 Condutibilidade Térmica.....	28
3.5 Ventilação Natural.....	29
3.6 Isolamento Térmico.....	30
3.6.1 Isolantes térmicos.....	30
3.6.2 Materiais de mudança de fase (PCM)	32
4. CAMPANHA EXPERIMENTAL	37
4.1 Motivação.....	37

4.2	Localização das Células de Teste.....	38
4.3	Instalação, Instrumentação e Monitorização das Células.....	40
4.4	Dados Climáticos	44
4.4.1	Vento	44
4.4.2	Humidade Relativa.....	45
4.4.3	Precipitação	45
4.4.4	Radiação.....	46
5.	ANÁLISE DE RESULTADOS	49
5.1	Inércia Térmica das Células de Teste.....	50
5.1.1	Quantificação da inércia térmica interior	50
5.1.2	Classe de inércia térmica interior	52
5.2	Resultados sem Ventilação Natural das Células de Teste	53
5.2.1	Dia 22 de Junho de 2011	53
5.2.2	Dia 25 de Junho de 2011	57
5.2.3	Dia 5 de Julho de 2011	60
5.3	Resultados com Ventilação Natural das Células de Teste.....	64
5.3.1	Cálculo do diâmetro das aberturas de ventilação natural	64
5.3.2	Dia 5 de Agosto de 2011	66
5.3.3	Dia 9 de Agosto de 2011	69
5.3.4	Dia 10 de Agosto de 2011	73
5.4	Síntese de Resultados	77
5.4.1	Comportamento térmico das células de teste	77
5.4.2	Efeito da Ventilação Natural.....	78
6.	ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA.....	83
6.1	Reabilitação versus Construção	83
6.2	Tipos de Intervenções de Reabilitação.....	84
6.3	Reabilitação Térmica.....	85

6.3.1 Escolha de materiais.....	86
6.3.2 Configurações do isolamento térmico em paredes.....	87
6.3.2.1 Isolamento térmico pelo interior.....	87
6.3.2.2 Isolamento térmico pelo exterior.....	88
6.3.3 Soluções alternativas.....	88
6.3.3.1 Argamassas com desempenho térmico melhorado.....	89
6.3.3.2 Parede “Trombe”.....	90
7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	95
7.1 Breve Descrição do Trabalho Realizado.....	95
7.2 Principais Conclusões.....	95
7.3 Perspectivas Futuras.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
ANEXO A.....	107
A.1 Dia 27 de Junho de 2011.....	108
A.2 Dia 6 de Agosto de 2011.....	109
A.3 Dia 15 de Agosto de 2011.....	110
A.4 Dia 20 de Outubro de 2011.....	111
A.5 Dia 25 de Outubro de 2011.....	112
A.6 Dia 27 de Outubro de 2011.....	113
A.7 Dia 29 de Outubro de 2011.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pinturas rupestres - Gruta de Altamira, Espanha [7].....	9
Figura 2: Grande muralha – China [9].....	10
Figura 3: Bibury - Gloucestershire, Inglaterra [11].....	11
Figura 4: Herdade dos Perdigões - Alentejo, Portugal [12].....	12
Figura 5: Construções de terra crua – distribuição geográfica, Portugal [15].....	13
Figura 6: Ladoeiro – Idanha-a-Nova, Portugal [16].....	13
Figura 7: Residência Paroquial (Devoluta).....	14
Figura 8: Centro Recreativo Murtoense.....	14
Figura 9: S. Salvador, Ílhavo – Muro de vedação.....	14
Figura 10: Principais gases do efeito de estufa.....	17
Figura 11: Casas novas em alvenaria de Adobe - Astúrias, Espanha [19].....	18
Figura 12: Fabrico e secagem de adobes – Goiás, Brasil [21].....	19
Figura 13: Secagem de adobes – Alto Tâmega, Portugal [15].....	19
Figura 14: Super adobe - Califórnia, Estados Unidos [22].....	19
Figura 15: Modos de propagação do calor nas construções.....	26
Figura 16: Manta resiliente de polietileno (acústica).....	27
Figura 17: Manga plástica (soalho flutuante).....	27
Figura 18: Regranulado negro de cortiça.....	31
Figura 19: Poliestireno extrudido (XPS).....	32
Figura 20: PCM na construção - Kent, Inglaterra [51].....	33
Figura 21: Cera de parafina em placas [31].....	34
Figura 22: Painel com miolo de cera de parafina [31].....	34
Figura 23: Propostas para a localização das Células de teste.....	39
Figura 24: Localização e identificação das Células de teste.....	39
Figura 25: Células de teste após o transporte.....	40
Figura 26: Estrutura em madeira para fixar a cobertura das células.....	41
Figura 27: Sistema de aquisição de dados.....	42
Figura 28: Células prontas para a monitorização.....	42
Figura 29: Interface do software de monitorização.....	43
Figura 30: Orifício de ventilação.....	43
Figura 31: Quadrantes (Q) principais da direcção do vento.....	45
Figura 32: Direcção do vento em relação às células de teste.....	45
Figura 33: Representação do sombreamento diário.....	49
Figura 34: Características dimensionais das células.....	50

Figura 35: Representação vectorial do vento do dia 22/06/ 2011.....	54
Figura 36: Temperaturas da célula “A” no dia 22 de Junho de 2011	55
Figura 37: Temperaturas da célula “B” no dia 22 de Junho de 2011	55
Figura 38: Temperaturas da célula “C” no dia 22 de Junho de 2011	55
Figura 39: Temperaturas dos centros das três células no dia 22 de Junho de 2011.....	56
Figura 40: Representação vectorial do vento do dia 25/06/ 2011.....	58
Figura 41: Temperaturas da célula “A” no dia 25 de Junho de 2011	58
Figura 42: Temperaturas da célula “B” no dia 25 de Junho de 2011	59
Figura 43: Temperaturas da célula “C” no dia 25 de Junho de 2011	59
Figura 44: Temperaturas dos centros das três células no dia 25 de Junho de 2011.....	60
Figura 45: Representação vectorial do vento do dia 05/07/ 2011.....	61
Figura 46: Temperaturas da célula “A” no dia 5 de Julho de 2011	62
Figura 47: Temperaturas da célula “B” no dia 5 de Julho de 2011	62
Figura 48: Temperaturas da célula “C” no dia 5 de Julho de 2011	63
Figura 49: Temperaturas dos centros das três células no dia 5 de Julho de 2011.....	63
Figura 50: Aberturas da ventilação natural.....	65
Figura 51: Representação vectorial do vento do dia 05/08/ 2011.....	67
Figura 52: Temperaturas da célula “A” no dia 5 de Agosto de 2011	67
Figura 53: Temperaturas da célula “B” no dia 5 de Agosto de 2011	68
Figura 54: Temperaturas da célula “C” no dia 5 de Agosto de 2011	68
Figura 55: Temperaturas dos centros das três células no dia 5 de Agosto de 2011.....	69
Figura 56: Representação vectorial do vento do dia 09/08/ 2011.....	70
Figura 57: Temperaturas da célula “A” no dia 9 de Agosto de 2011	71
Figura 58: Temperaturas da célula “B” no dia 9 de Agosto de 2011	71
Figura 59: Temperaturas da célula “C” no dia 9 de Agosto de 2011	72
Figura 60: Temperaturas dos centros das três células no dia 9 de Agosto de 2011.....	73
Figura 61: Representação vectorial do vento do dia 09/08/ 2011.....	74
Figura 62: Temperaturas da célula “A” no dia 10 de Agosto de 2011	75
Figura 63: Temperaturas da célula “B” no dia 10 de Agosto de 2011	75
Figura 64: Temperaturas da célula “C” no dia 10 de Agosto de 2011	76
Figura 65: Temperaturas dos centros das três células no dia 10 de Agosto de 2011.....	76
Figura 66: Efeito da ventilação natural – Célula A	78
Figura 67: Efeito da ventilação natural – Célula B.....	79
Figura 68: Efeito da ventilação natural – Célula C.....	79
Figura 69: Parede rebocada com PCM microencapsulado [38]	89

Figura 70: Exemplo prático de uma parede de Trombe [40].....	90
Figura 71: Temperaturas da célula “A” no dia 27 de Junho de 2011	108
Figura 72: Temperaturas da célula “B” no dia 27 de Junho de 2011	108
Figura 73: Temperaturas da célula “C” no dia 27 de Junho de 2011	108
Figura 74: Temperaturas da célula “A” no dia 6 de Agosto de 2011	109
Figura 75: Temperaturas da célula “B” no dia 6 de Agosto de 2011	109
Figura 76: Temperaturas da célula “C” no dia 6 de Agosto de 2011	109
Figura 77: Temperaturas da célula “A” no dia 15 de Agosto de 2011	110
Figura 78: Temperaturas da célula “B” no dia 15 de Agosto de 2011	110
Figura 79: Temperaturas da célula “C” no dia 15 de Agosto de 2011	110
Figura 80: Temperaturas da célula “A” no dia 20 de Outubro de 2011	111
Figura 81: Temperaturas da célula “B” no dia 20 de Outubro de 2011.....	111
Figura 82: Temperaturas da célula “C” no dia 20 de Outubro de 2011.....	111
Figura 83: Temperaturas da célula “A” no dia 25 de Outubro de 2011	112
Figura 84: Temperaturas da célula “B” no dia 25 de Outubro de 2011.....	112
Figura 85: Temperaturas da célula “C” no dia 25 de Outubro de 2011.....	112
Figura 86: Temperaturas da célula “A” no dia 27 de Outubro de 2011	113
Figura 87: Temperaturas da célula “B” no dia 27 de Outubro de 2011.....	113
Figura 88: Temperaturas da célula “C” no dia 27 de Outubro de 2011.....	113
Figura 89: Temperaturas da célula “A” no dia 29 de Outubro de 2011	114
Figura 90: Temperaturas da célula “B” no dia 29 de Outubro de 2011.....	114
Figura 91: Temperaturas da célula “C” no dia 29 de Outubro de 2011.....	114

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Universidade de Aveiro – Dados climáticos relevantes do dia 22/06/ 2011	53
Tabela 2: Resultados experimentais do dia 22/06/ 2011	57
Tabela 3: Universidade de Aveiro – Dados climáticos relevantes do dia 25/06/ 2011	57
Tabela 4: Resultados experimentais do dia 25/06/ 2011	60
Tabela 5: Universidade de Aveiro – Dados climáticos relevantes do dia 05/07/ 2011	61
Tabela 6: Resultados experimentais do dia 5/07/ 2011	64
Tabela 7: Universidade de Aveiro – Dados climáticos relevantes do dia 05/08/ 2011	66
Tabela 8: Resultados experimentais do dia 05/08/ 2011	69
Tabela 9: Universidade de Aveiro – Dados climáticos relevantes do dia 09/08/ 2011	70
Tabela 10: Resultados experimentais do dia 09/08/ 2011	73
Tabela 11: Universidade de Aveiro – Dados climáticos relevantes do dia 10/08/ 2011	74
Tabela 12: Resultados experimentais do dia 10/08/ 2011	77

LISTA DE SÍMBOLOS

h	Altura (m)
ξ	Amortecimento (°C)
A	Área (m ²)
S	Área (m ²)
Q_v	Caudal de ventilação (m ³)
δ_p	Coefficiente de pressão
a	Comprimento (m)
l	Comprimento (m)
λ	Condutibilidade térmica (W/(m.°C))
e	Espessura (m)
Fa	Factor de atraso (h)
b	Largura (m)
I_t	Massa superficial útil (kg/m ²)
v	Velocidade do vento (m/s)
V	Volume (m ³)

CAPÍTULO 1

Enquadramento, objectivos e organização da dissertação

1. ENQUADRAMENTO, OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

1.1 Enquadramento

1.2 Objectivos

1.3 Organização da Dissertação

1. ENQUADRAMENTO, OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

1.1 Enquadramento

Sendo um facto que a actividade humana está a provocar o aquecimento do planeta, devido à emissão de gases geradores do efeito de estufa e que cerca de metade dessas emissões provêm dos edifícios, em parte devido à sua utilização, consumidora de energia muitas vezes produzida a partir de combustíveis fósseis como o gás natural, o carvão e o petróleo, e em parte devido à sua construção, pois esta é responsável não só pela produção de resíduos, mas também pelo consumo de energia e de recursos naturais e pelas emissões dos referidos gases, nomeadamente de dióxido de carbono (CO₂), principal contribuinte, em cerca de sessenta por cento, para o efeito de estufa (ONU, 2007).

“As mudanças na quantidade de gases de efeito estufa e aerossóis da atmosfera, na radiação solar e nas propriedades da superfície terrestre alteram o equilíbrio energético do sistema climático.” [1]

A reabilitação de edifícios, em detrimento da nova construção, assume assim particular interesse, pois reconhecidamente a sua prática confere maior sustentabilidade ao sector da construção, podendo ser este o impulso necessário à mudança de mentalidades que faltava, nomeadamente em Portugal pois, *“... apesar de o seu parque urbano estar sobrelotado, evidenciando assim a necessidade de reabilitar edifícios como prioridade em relação à construção nova, reabilitar constitui apenas 10 por cento do seu mercado da construção, enquanto por exemplo na União Europeia essa prática atinge os 40 por cento.” [2]*

O adobe na sua aplicação tradicional, pelos processos de produção associados possui características termo-físicas muito variáveis.

“O adobe é uma técnica de construção em terra onde são utilizados blocos de terra crua moldados. O termo “adobe” provém do vocabulário Árabe e Berber e foi implementado na Península Ibérica quando os povos do Norte de África dominavam esta zona do continente europeu.” [3]

A actual regulamentação térmica apresenta novos desafios no que respeita à utilização da terra crua em novas construções, bem como na determinação das suas propriedades nos processos de reabilitação térmica e energética de edifícios existentes. Para as intervenções sobre edifícios construídos com estas técnicas é necessário dotar os técnicos de conhecimentos que lhe permitam responder às exigências da nova regulamentação.

“Em face das políticas adoptadas no passado, que conduziram a um elevado ritmo de construção nova, os técnicos receberam a sua formação orientada essencialmente para este domínio, registando-se um défice de formação de técnicos na área da reabilitação que é necessário colmatar.” [4]

1.2 Objectivos

Com o presente trabalho pretende-se demonstrar as possibilidades de exploração da inércia térmica dos elementos em terra crua, seja em paredes, seja em coberturas, associadas às estratégias solares passivas no Inverno e às estratégias bioclimáticas no Verão, considerando os ciclos diários e estacionais e salvaguardando os usos intermitentes. Para o efeito foi realizada uma campanha experimental para o estudo do comportamento térmico de construções em adobe, durante os meses de Verão deste ano. Através da análise dos seus resultados pretende-se fazer uma observação crítica e avaliar o nível do comportamento térmico destas construções, abordando-se ainda a temática da ventilação natural, demonstrando-se a sua influência na temperatura interior das construções e consequentemente no seu conforto interior. Finalmente, será ainda abordada a temática da reabilitação térmica, no contexto da sustentabilidade da construção, propondo-se estratégias de intervenção alternativas às práticas mais usuais na actividade da construção civil.

Com este estudo espera-se poder contribuir para a valorização das construções em alvenaria de adobe, outrora tão em voga mas que a partir da segunda metade do século passado caíram no esquecimento, muito por força do menosprezo a que foi sujeita face à introdução de novas técnicas e novos materiais, como por exemplo, o betão armado e a

alvenaria de tijolo cerâmico, que conseqüentemente levaram a uma perda, não só, de mão-de-obra qualificada, mas também de técnicos com a formação adequada.

“Interesses económicos e a necessidade de se construir rapidamente colocaram de parte algumas das boas práticas ancestrais de construção cuja adaptação à região os tornavam tão característicos.” [5]

1.3 Organização da Dissertação

A dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos, dos quais o Capítulo 1 é a presente introdução, onde se apresentam as motivações do trabalho, descrevem-se os objectivos pretendidos e a sua estrutura.

O Capítulo 2 diz respeito ao estado da arte deste tipo de construções, em terra crua, começando por se fazer uma breve introdução histórica, tanto no mundo como em Portugal. Tenta-se ainda expor o seu potencial e o papel que poderão desempenhar na cada vez mais necessária sustentabilidade da construção e/ou reabilitação, devido nomeadamente, à contribuição que o sector da construção civil representa no efeito de estufa que é globalmente apontado como principal responsável pelas alterações climáticas no nosso planeta.

No Capítulo 3 faz-se uma abordagem à temática do comportamento térmico dos edifícios, nomeadamente da legislação vigente. Introduzem-se ainda alguns conceitos que estão na base desse regulamentação, que nem sempre são do conhecimento geral, mesmo entre alguns dos intervenientes directos no sector da construção, como a inércia térmica e a ventilação natural.

O Capítulo 4 é destinado à componente experimental desta dissertação, onde se tenta descrever os trabalhos realizados, o modo como foram executados, os materiais utilizados, e demais informação que se julgou importante.

No Capítulo 5 faz-se a análise dos resultados obtidos na campanha experimental, descrita no capítulo anterior.

O Capítulo 6 surge como complemento natural deste estudo, pois sendo o Distrito de Aveiro tão rico em edificado desta natureza, fará todo o sentido abordar-se o tema da reabilitação térmica das construções em alvenaria de terra.

Finalmente o Capítulo 7 é destinado às conclusões desta dissertação, complementadas com perspectivas futuras sobre o que poderá ser realizado, tanto na continuação desta dissertação como nas construções em alvenaria de terra crua em si, quer seja na vertente da reabilitação ou na vertente da construção nova.

CAPÍTULO 2
Construções de terra

2. CONSTRUÇÕES DE TERRA

2.1 Introdução

2.2 Construções em Alvenaria de Adobe em Portugal

2.3 Função da Alvenaria

2.4 A Alvenaria de Adobe e a Sustentabilidade da Construção

2.5 Potencialidades e Fragilidades da Alvenaria de Adobe

2. CONSTRUÇÕES DE TERRA

2.1 Introdução

Desde os primórdios da humanidade que o Homem sentiu a necessidade de se proteger das condições meteorológicas, nomeadamente das intempéries, tendo procurado inicialmente as grutas naturais. No entanto, cedo começou a construir as suas próprias protecções, escavando as próprias grutas onde se abrigava (figura 1), normalmente em locais onde existiam afloramentos rochosos ou utilizando os materiais que a natureza oferecia, tais como troncos de madeira, galhos cobertos com peles dos animais que caçava. Com o advento da sedentarização, por volta dos anos 9000 a 7000 a.C., o Homem começou a construir os seus locais de residência habitual, usando materiais como a pedra e a terra ou outros que fossem os mais abundantes na região onde se fixava. [6]

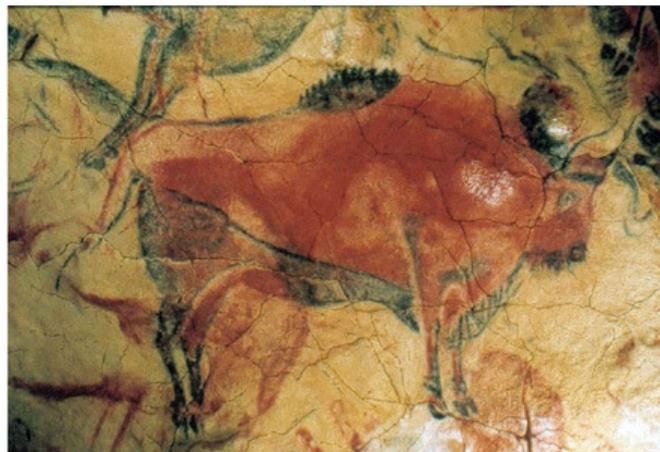


Figura 1: Pinturas rupestres - Gruta de Altamira, Espanha [7]

As primeiras habitações, em alvenaria de pedra, eram de estrutura circular, tendo mais tarde ocorrido a mudança para uma estrutura rectangular, que permitia, por exemplo, a ampliação das habitações, tanto ao nível do solo como o aumento no número de pisos. Sempre que o edifício não exigia uma durabilidade total era construído com adobes secos ao sol, material mais conveniente e mais económico. Feitos com barro e palha, os tijolos de adobe eram muito utilizados, tanto nas construções quotidianas como ainda em grandes monumentos de algumas civilizações, como na Mesopotâmia, no Egipto e na China, por exemplo. A grande muralha da China (Figura 2) começou por ser inicialmente, em

diversos trechos localizados em zonas remotas, construída com terra compactada (taipa), sendo posteriormente revestida com pedras naturais. [8]



Figura 2: Grande muralha – China [9]

Foi durante o Império Romano (500 a.C. a 300 d.C.) que a generalização da produção de alvenarias ocorreu, devido não só à variedade e facilidade de obter a matéria-prima, mas principalmente devido ao desejo do Império em formar uma civilização homogênea a todos os níveis, nomeadamente, social, económico, arquitectónico e militar. Os edifícios Romanos, devido ao seu clima eram construídos essencialmente com tijolos secos ao sol assentes sobre juntas de barro. As faces exteriores eram rebocadas para melhorar o aspecto e também para dar uma melhor protecção contra a chuva. Os tijolos cozidos eram por vezes usados para melhorar a resistência nas ombreiras das portas. Só durante o domínio do imperador Augusto é que o uso do tijolo cozido se tornou significativo.

“Em muitos edifícios Romanos foram construídas paredes segundo uma nova técnica que era uma espécie de betão, isto é uma amálgama de argamassa, saibro, cascalho e desperdícios de tijolos e telhas. O seu aspecto exterior era melhorado revestindo estas paredes com tijolos, placas de mármore, calcário ou estuque.” [10]

No norte da Europa, já durante a era medieval, as construções eram quase todas dominadas pelo tijolo devido à escassez de pedra nestas regiões. Também na Inglaterra (figura 3), durante os séculos XIV e XV, a alvenaria de tijolo teve um incremento de produção, passando a existir uma diversidade de cores disponíveis que iam do bege ao cinzento,

passando por vários tons de vermelho, que foi provocado sobretudo pelo aumento dos preços da madeira.



Figura 3: Bibury - Gloucestershire, Inglaterra [11]

No início do século XIX, quando se pretendia construir um edifício, começava-se por preparar a pasta de argila para fabricar os tijolos que seriam necessários. Mais tarde esta produção pontual passou a ser de maior escala, pois a Revolução Industrial permitiu o desenvolvimento da mecanização na produção dos materiais de construção, e o grande avanço na área dos transportes permitiu o desenvolvimento das redes de comércio, o que tornou as matérias-primas e os produtos finais disponíveis, mesmo a longas distâncias. Os avanços tecnológicos melhoraram as ferramentas e métodos usados na fabricação dos materiais de construção, mas as mudanças pouco mais foram do que a transferência da mão-de-obra tradicional para a produção industrial, pois registou-se um pequeno aumento da qualidade e uniformização dos produtos.

“Com o movimento moderno na arquitectura que ocorreu nos anos vinte do século passado, e que deu frutos depois da II Guerra Mundial, e devido também ao aparecimento de novos materiais estruturais como o ferro, o aço e o betão armado, as alvenarias de adobe foram sendo preteridas em favor destes materiais, sobretudo no que diz respeito ao emprego em alvenarias resistentes”. [10]

2.2 Construções em Alvenaria de Adobe em Portugal

Diversos autores referem-se à introdução na Península Ibérica das técnicas construtivas em terra pelos Fenícios, Cartagineses, Romanos ou Muçulmanos. Todos estes contribuíram, sobretudo com influências, mas foram provavelmente os Muçulmanos que mais

divulgaram e generalizaram as técnicas referidas. No entanto, no actual território português a utilização da terra como elemento construtivo era já uma prática pré-histórica, como o demonstram diversos achados arqueológicos (figura 4), como por exemplo, “... a habitação de planta circular construída com pedras na base e adobe na parte superior, formando cúpulas, em Alcácer do Sal, datada de aproximadamente 2500 a.C., cujo achado pertence ao arquitecto Mário Varela Gomes e a sua equipa, ou os vestígios de uma estrutura de planta rectangular, com muros em adobe, fundações em pedra e pavimento de terra batida, igualmente em Alcácer do Sal, ou o achado dos arqueólogos Manuel da Maia e Maria Garcia Pereira Maia, em Castro Verde, de uma construção de pátio interior com uma taipa extremamente forte, presumivelmente da Idade do Ferro”. [12]



Figura 4: Herdade dos Perdigões - Alentejo, Portugal [12]

Actualmente, pode-se considerar que no sul do país, aproximadamente até aos anos 50, a taipa era a técnica construtiva mais utilizada, tanto no Alentejo e Ribatejo como no Algarve, esta técnica foi muito utilizada no Baixo Alentejo, e mesmo no sul do Alto Alentejo. No entanto existem áreas isoladas no meio da construção em taipa, onde se edificava em alvenaria de pedra (especialmente alvenaria de xisto, como é o caso de Monsaraz) ou em adobe. Esta última técnica aparecia sobretudo em zonas de aluvião (por exemplo, o vale do Sado), mas também em bolsas pontuais onde a terra era mais argilosa (por exemplo alguns edifícios na aldeia da Luz) e por vezes era utilizada nas paredes interiores das habitações [13,14].

O Centro Litoral era dominado pelo adobe (figura 5), devido às regiões de grande aluvião, sendo identificada uma grande variedade de tipologias de adobe por toda a região centro (observado na zona ribatejana, em Almeirim, Coruche e Benavente) [13,14].

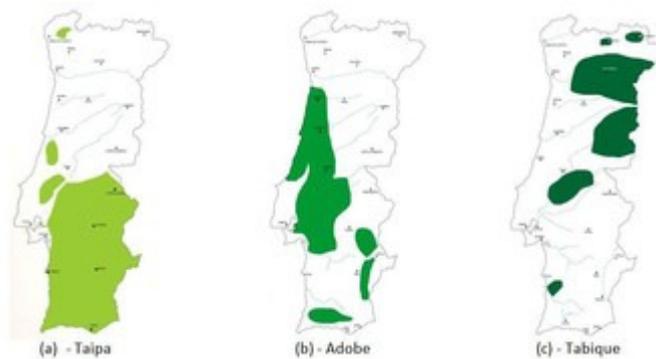


Figura 5: Construções de terra crua – distribuição geográfica, Portugal [15]

“Quando eram realizados com terra mais arenosa, como a existente em Pataias, no concelho de Nazaré, procurava-se travar a alvenaria de adobe, entre cada fiada horizontal, com pedaços de telha, ou com uma argamassa forte de cal e areia. A técnica foi desaparecendo durante as décadas de 60 e 70.” [12]

O Norte e Centro Interior do país, sendo zonas de maior altitude, são dominados pela alvenaria de pedra, embora quando se trata de habitação mais pobre, de um só piso, é comum encontrarem-se paredes mais ligeiras em taipa de fasquio ou taipa de rodízio (figura 6) e também é possível identificar bolsas isoladas de taipa de terra comprimida, como por exemplo na freguesia de Lanheses, no concelho de Viana do Castelo. *“Nesta área, a população denomina a técnica por "tapia", provavelmente com reminiscências à vizinha Galiza, em Espanha.” [12]*



Figura 6: Ladoeiro – Idanha-a-Nova, Portugal [16]

No Concelho de Aveiro e seus concelhos limítrofes, por serem regiões de grande aluvião, a alvenaria de adobe foi até meados da década de sessenta do século passado, quando se banalizou o uso da alvenaria de tijolo cerâmico e betão (e as preocupações ambientais eram inexistentes) praticamente a única técnica construtiva utilizada nas edificações, de todos os tipos, existindo ainda hoje inúmeros exemplos espalhados por toda a região, como por exemplo os apresentados nas figuras 7 e 8, respectivamente, da antiga residência paroquial na Freguesia do Bunheiro e do edifício (teatro) sede do CRM – Centro Recreativo Murtoense, na Freguesia de Pardelhas, ambos no Concelho da Murtosa.



Figura 7: Residência Paroquial (Devoluta)



Figura 8: Centro Recreativo Murtoense

Mas não só os edificios eram construídos em alvenaria de adobe, pois esta também era muito popular na construção de muros de vedação (figura 9) e na construção de poços de água para a rega agrícola.



Figura 9: S. Salvador, Ílhavo – Muro de vedação

Mais recentemente, na linha do que aconteceu no resto da Europa, a técnica de construção mais usada em Portugal é a baseada em estruturas reticuladas de betão armado e mais raramente de aço, preenchida com paredes de alvenaria de tijolo cerâmico.

2.3 Função da Alvenaria

As paredes de alvenarias, segundo o seu método construtivo, podem ser agrupadas em três grandes categorias:

- Alvenarias simples - são constituídas por tijolos cerâmicos ou por blocos de betão ligados com argamassa. Este tipo de solução não é recomendado para zonas sísmicas devido ao seu comportamento pouco dúctil;
- Alvenarias armadas - podem ser constituídas por tijolos cerâmicos ou por blocos de betão com furação vertical, ligados com argamassa e armados vertical e horizontalmente, o que aumenta a resistência e a ductilidade, sendo uma solução pouco usada no nosso país, ao contrário do que acontece por exemplo nos Estados Unidos;
- Alvenarias confinadas - são constituídas por panos de alvenaria simples delimitados pelos elementos estruturais, como por exemplo, as vigas e os pilares ou por cintas e montantes, de betão armado. Esta solução é a mais usada em tanto em edifícios de pequeno porte como as habitações unifamiliares de um ou dois pisos, como em edifícios de médio e grande porte.

As alvenarias devem responder a algumas exigências comportamentais, ao nível da segurança estrutural, da salubridade, da durabilidade e conforto, nomeadamente conforto térmico.

Quanto à segurança estrutural, importante sobretudo em alvenarias estruturais, há que considerar a resistência da alvenaria a cargas verticais e a acções horizontais, para além da sua resistência ao fogo e segurança face a acções acidentais. Deve ter-se especial atenção na abertura de vãos, na abertura de roços para canalizações, na fixação de equipamentos pesados, e na possibilidade da existência de vibrações mecânicas.

Quanto às exigências de conforto e salubridade estas são de natureza higrotérmica, acústica ou de estanquidade.

As paredes de alvenaria têm um peso muito significativo na totalidade da construção no nosso país, com predominância no enchimento de estruturas reticuladas de betão, ou seja, em paredes de fachadas, na execução de divisórias interiores, assim como em muros de vedação, poços, etc., tendo o seu uso com funções estruturais diminuído.

2.4 A Alvenaria de Adobe e a Sustentabilidade da Construção

“O Mundo inteiro vive hoje um novo desafio: continuar o seu desenvolvimento e atender às necessidades do Homem moderno sem, contudo, degradar o meio ambiente em que vivemos. Tal desafio pode ser resumido por duas palavras: desenvolvimento sustentável”.
[17]

O termo sustentabilidade foi inicialmente introduzido no relatório das Nações Unidas “Our Common Future” (Brundtland). A sustentabilidade foi então considerada como “... o desenvolvimento que satisfaça as necessidades da geração actual sem comprometer as gerações futuras”. [18]

Estima-se que a actividade da construção consuma anualmente cerca de 50 por cento dos recursos naturais disponíveis (extracção, mineração, abate, etc.) e que seja responsável pela produção de aproximadamente 40 por cento da totalidade dos resíduos sólidos produzidos no planeta. *“A aposta na construção nova em detrimento da preservação, requalificação e reabilitação do existente origina um impacte ambiental relativamente maior devido a um maior consumo energético associado à energia incorporada nos materiais de construção e contribui para a extracção em meio terrestre, marinho e fluvial de grandes quantidades de inertes”.* [4]

O consumo energético chega a atingir nos países mais industrializados cerca de 50 por cento da energia produzida, sendo os gases emitidos, tanto na produção dessa energia como no seu consumo, os principais responsáveis pelo efeito de estufa. Neste ponto

assume especial relevância a emissão de dióxido de carbono (CO_2), que segundo o IPCC – Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (2007), é o que mais contribui para o efeito de estufa (figura 10), com uma participação de cerca de sessenta por cento, seguido do metano (CH_4) com uma participação de quinze por cento, do clorofluorcarboneto (CFC) e Ozono (O_3) com uma participação a rondar os dez por cento cada um e o óxido nitroso (N_2O) que participa em cerca de cinco por cento para esse efeito de estufa.

“As concentrações atmosféricas globais de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso aumentaram bastante em consequência das actividades humanas desde 1750 e agora ultrapassam em muito os valores pré-industriais determinados com base em testemunhos de gelo de milhares de anos...” [1]



Figura 10: Principais gases do efeito de estufa

A associação da alvenaria de adobe à ideia de construção “pobre” comparativamente à construção que passou a ser mais corrente, efectuada com recurso a alvenaria de tijolos cerâmicos de barro vermelho cozido e elementos estruturais de betão armado, conduziu ao progressivo desaparecimento desta técnica construtiva, em especial na segunda metade do século XX, porém será seguro afirmar que se vivem momentos de ruptura com o preconceito acerca da utilização do adobe.

Um novo olhar da arquitectura sobre a sustentabilidade das construções, não pode deixar de parte esta técnica construtiva (figura 11), uma vez que esta se mostra ecologicamente

sustentável, pela sua baixa emissão de gases com efeito de estufa na atmosfera, em comparação com o fabrico do tijolo cozido.



Figura 11: Casas novas em alvenaria de Adobe - Astúrias, Espanha [19]

Com efeito, entende-se por construção sustentável todo o sistema construtivo que possibilite uma economia de recursos materiais e energéticos, que responda satisfatoriamente às exigências técnicas, sociais e artísticas, que proporcione a curto a médio ou a longo prazo, um equilíbrio energético do edifício. Este equilíbrio engloba não só a energia necessária durante a edificação, como a dispendida na fabricação dos materiais de construção, assim como a energia que o edifício vai consumir durante todo o seu ciclo de vida, não esquecendo a dispendida com os processos de eventuais reabilitações e demolição no fim da vida útil.

A alvenaria de adobe (figuras 12 e 13) é um material que se insere perfeitamente no contexto da sustentabilidade, pois cumpre os requisitos técnicos, ao apresentar muitas potencialidades, como por exemplo, o elevado conforto térmico, associado à forte inércia térmica, muito bom comportamento acústico, especialmente face aos sons aéreos, pois tem associado uma massa elevada, cumpre os requisitos económicos, devido aos baixos custos de produção e de transporte do material, mais, desde que devidamente mantidas são de uma grande longevidade e cumpre os requisitos ecológicos, pois para além das baixas emissões que produz, salientam-se ainda os aspectos ligados à reciclagem da construção, uma vez que não há produção de resíduos ou entulhos industriais, pois a “... *terra volta à terra*”. [20]



Figura 12: Fabrico e secagem de adobes – Goiás, Brasil [21]



Figura 13: Secagem de adobes – Alto Tâmega, Portugal [15]

Actualmente vêem-se já novas abordagens à construção com este tipo de material, como por exemplo a feita pela Fundação Cal-Earth (Estados Unidos), idealizada pelo Arquitecto, de origem iraniana, Nader Khalili (1936-2008), que desenvolveu, o que ele designou por “super adobe”, uma técnica de construção à base de sacos de areia e arame, à prova de sismos (figura 14).



Figura 14: Super adobe - Califórnia, Estados Unidos [22]

2.5 Potencialidades e Fragilidades da Alvenaria de Adobe

As fragilidades mais frequentemente apontadas às construções em terra prendem-se com a sua fraca resistência ao sismo, pois resistem bem às compressões, mas mal às tracções, por isso, a forma do edifício mais eficiente estruturalmente é a forma arredondada, como são exemplo as abóbadas e os arcos, que funcionam à compressão e têm um bom

comportamento ao sismo. No caso de formas reticuladas, os cantos têm que ser reforçados estruturalmente, por exemplo com a aplicação de elementos verticais de madeira.

Genericamente, a construção em terra apresenta uma resistência mecânica limitada, o que impossibilita a construção em grande altura, e a necessidade de cuidados particulares face à água. Por outro lado, exige uma elevada incorporação de mão-de-obra, o que actualmente onera significativamente o custo das construções, pois ao contrário de antigamente, em que a mão-de-obra era barata e os materiais é que eram caros, actualmente isso já não acontece pois assistiu-se a uma inversão nos custos e passou a ser comum os materiais, na sua maior parte (dependendo do material), serem baratos e a mão-de-obra ser cara, em especial no caso de mão-de-obra qualificada.

No lado das potencialidades, as construções de alvenarias de adobe, quando bem planeadas e executadas, têm uma grande durabilidade e são vantajosas, em termos de conforto térmico, regulação da humidade do ar pois a terra funciona como um PCM (phase change material) natural, não têm nem produzem resíduos de produtos químicos, nem contribuem para as emissões de CO₂ para a atmosfera, causadores do efeito de estufa.

Construir com terra é fácil, mas exige cuidados técnicos para evitar problemas futuros, por exemplo, a terra para o fabrico dos adobes deve ser ligeiramente argilosa, de modo a evitar a contracção do material e conseqüente fendilhação, sendo também necessário realizar alguns testes de resistência com o adobe seco. O adobe deve ser assente sobre uma estrutura de pedra ou betão, não devendo nunca ser colocado directamente sobre o solo, evitando assim a subida de humidade. Também é aconselhável que as construções tenham o beiral do telhado bem saliente de modo a evitar ao máximo que a água da chuva se infiltre pelas paredes.

O conhecimento das técnicas de construção com alvenaria de adobe é igualmente fundamental para que se possa proceder à eficiente reabilitação e manutenção das construções existentes.

CAPÍTULO 3

Comportamento térmico dos edifícios

3. COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

3.1 Legislação em vigor

3.2 Formas de Propagação do Calor

3.3 Inércia Térmica

3.4 Condutibilidade Térmica

3.5 Ventilação Natural

3.6 Isolamento Térmico

3.6.1 Isolantes térmicos

3.6.2 Materiais de mudança de fase (PCM)

3. COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

3.1 Legislação em vigor

“O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE [23]), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro, foi o primeiro instrumento legal que em Portugal impôs requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações de forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno quer no Verão. Em paralelo, o RCCTE [23] visava também garantir a minimização de efeitos patológicos na construção derivados das condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente.” [23]

O RCCTE [23] constituiu um marco significativo na melhoria da qualidade da construção em Portugal, havendo hoje uma prática quase generalizada de aplicação de isolamento térmico nos edifícios, no entanto, face às exigências actuais, ter-se-á criado a ideia errada nalguns intervenientes, que é suficiente colocar isolamento térmico nas paredes e na cobertura, forrar com tijolo cerâmico os elementos estruturais de betão armado e montar caixilharias com vidros duplos, para se ter uma construção termicamente boa. Uma outra ideia errada, mas que também será muito comum, é a sensação de que se uma determinada espessura de isolamento é boa então o dobro dessa é muito melhor, não havendo a percepção de que se a falta de isolamento térmico é de facto mau, o isolamento em excesso, também o é.

Com o preço da energia a disparar para níveis cada vez mais elevados, e, as notícias sobre as evoluções climáticas a serem cada vez mais alarmantes, a Europa propôs-se implementar um sistema de eficiência energética através do qual se pretende, simultaneamente, reduzir a sua dependência dos combustíveis fósseis e diminuir as emissões de carbono para a atmosfera. Um dos sectores em que se propôs intervir para alcançar estes objectivos, é o da construção civil, nomeadamente, *“... na melhoria da eficiência energética dos edifícios a construir e a reabilitar, quer se trate de edifícios de habitação, quer se trate de edifícios de serviços.” [2]*

Com este objectivo foi publicada a Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho [24] (alterada pela Directiva Europeia 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 [25]), que obrigava os estados membros a melhorar o desempenho energético deste tipo de construções ao nível do conforto térmico e do consumo de águas quentes, foi transposta para a legislação portuguesa, através da publicação, em 04 de Abril de 2006, dos Decretos-Lei: 78/2006, de 4 de Abril [24], 79/2006, de 4 de Abril [26] e 80/2006, de 4 de Abril [23], que, respectivamente, aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios e vieram actualizar os regulamentos RSECE [26] e RCCTE [23].

A publicação destes decretos veio introduzir maiores níveis de exigência no desempenho Energético nas obras de Construção Civil tendo como principais linhas de força:

- O lançamento da Certificação Energética obrigatória dos Edifícios.
- A organização da verificação efectiva destes Regulamentos (RSECE [26] e RCCTE [23]).
- O lançamento do programa de qualificação de Auditores Energéticos de Edifícios, exigindo deste modo, qualificações específicas para quem aplica e para quem verifica a aplicação dos Regulamentos.

Face a esta nova realidade, a construção de edifícios em alvenaria de adobe, e em especial a reabilitação de edifícios antigos, uma vez que actualmente em Portugal se assiste a um vazio regulamentar para as novas construções de alvenaria de terra crua, enfrentam um novo desafio, pois a sua certificação (e a de todos os edifícios) implica a sua classificação em termos energéticos, tornando-se então de grande relevância a correcta caracterização das propriedades térmicas da alvenaria de adobe, nomeadamente, do coeficiente de condutibilidade térmica do adobe, ou da resistência térmica no caso da parede, para além das propriedades acústicas, da inércia térmica e da própria estabilidade das construções.

3.2 Formas de Propagação do Calor

“O comportamento térmico das construções está directamente dependente das características e propriedades dos seus elementos de construção, mais propriamente a sua

massa e taxa de condução de calor, que transformam o comportamento térmico num processo dinâmico, desfasado temporalmente devido às acções térmicas exteriores, tornando-se assim um processo mais complexo de prever e quantificar.” [27]

A diferença de temperatura existente entre as superfícies interior e exterior da envolvente de uma edificação provoca uma transferência de calor entre os ambientes, exterior e interior, que aquela envolvente separa. A transferência de calor far-se-á num sentido ou outro, consoante aquela diferença seja positiva ou negativa, e sempre da temperatura mais elevada para uma mais baixa. As trocas de calor realizam-se segundo três modos fundamentais: condução, convecção e radiação (figura 15).

- Por **condução** quando a transmissão de calor através de um material dá-se por transferência entre moléculas desse material, “... *sem que elas se desloquem, sendo o modo de transferência característico da matéria sólida*” [17], em especial dos metais;
- Por **convecção**, normalmente nos fluidos (gases e líquidos), quando em resultado da acção combinada de diferenças de temperatura no seu seio, ocorrem movimentos de massa desse fluido. Quanto maiores forem as diferenças de temperatura, maiores serão as transferências de calor por convecção.
“Se as massas localizadas nas zonas superiores estiverem a temperaturas mais elevadas não se registarão movimentos convectivos, pois a massa mais densa, logo mais pesada, já está na zona inferior” [17];
- A **radiação**, em forma de calor, é emitida por todas as matérias, em intensidade variável consoante as características emissivas e a temperatura absoluta, não necessitando de um suporte físico para se transmitir, podendo transmitir-se no vácuo, mas pode ser parcial ou totalmente absorvida, reflectida ou transmitida pelos elementos sobre os quais incide, assim, “... *uma parte da radiação incidente nas superfícies dos materiais sólidos opacos é absorvida, provocando uma subida da sua temperatura, e a restante radiação é reflectida, especular ou difusamente.*” [17]

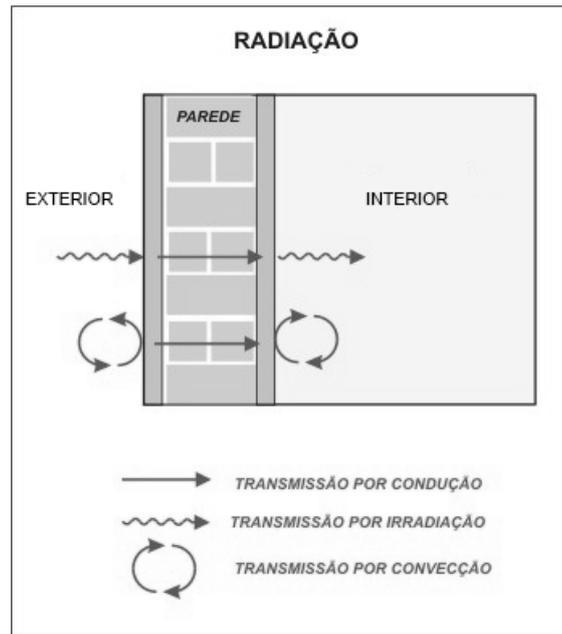


Figura 15: Modos de propagação do calor nas construções

3.3. Inércia Térmica

Pode entender-se por inércia térmica de um edifício como a sua capacidade de contrariar as variações de temperatura no seu interior, ou seja, a maior ou menor capacidade que tem em acumular calor nos seus elementos de construção.

“A velocidade de absorção e a quantidade de calor absorvida determina a inércia térmica dum edifício, pelo que o seu valor estará fundamentalmente dependente dos elementos interiores com massa elevada e sem qualquer camada isolante (vulgar em paredes de divisórias interiores).” [28]

A inércia térmica tem influência no comportamento do edifício no Inverno, ao determinar a capacidade de utilização dos ganhos solares, e no Verão, ao influenciar a capacidade do edifício absorver os picos de temperatura.

Uma vez armazenada nos elementos construtivos a temperatura do meio ambiente, a interacção desses elementos com o ambiente interior é muito positiva pois, se não for obstruída, irradia continuamente para os espaços interiores à mesma temperatura média

que armazenou. Para o exterior é essencial que se minimizem as perdas térmicas, pelo que é importante conjugar a inércia térmica com o isolamento térmico.

Por estas razões, idealmente, os edifícios deveriam ser construídos com paredes exteriores e coberturas pesadas e o isolamento térmico aplicado de forma contínua pelo exterior da envolvente que separa os espaços úteis interiores dos espaços exteriores e/ou espaços interiores não úteis. Esta concepção conduz a um bom contributo para a Inércia Térmica, visto que o isolamento impede o aquecimento pela face externa, aumentando o potencial da absorção de calor interior, especialmente nas coberturas e nas fachadas a Sul, Nascente e Poente, onde a incidência da radiação solar no Verão é especialmente intensa.

“Sob o ponto de vista de Inverno, para situações de ocupação permanente, a localização das camadas de isolante não têm relevância em termos da quantificação das perdas térmicas.” [28]



Figura 16: Manta resiliente de polietileno (acústica)



Figura 17: Manga plástica (soalho flutuante)

Para efeitos do regulamento RCCTE [23], foram definidas três classes de inércia térmica: forte, média e fraca. A classe da inércia térmica resulta do cálculo da massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento cuja definição, cálculo e terminologia empregue vêm descritos no n.º 2 do anexo VII.

Alguns exemplos de situações de inércia térmica:

- Inércia térmica fraca (mais comum em edifícios de serviços) - Zonas independentes com tectos falsos estanques, por exemplo de gesso cartonado (pladur), com pisos

revestidos com um material isolante acústico ou térmico (fotos acima), usual nos pavimentos “flutuantes”, e com paredes de divisórias leves;

- Inércia térmica média - Situação idêntica à anterior, mas em que uma das superfícies não tem material isolante térmico, de modo que a massa superficial útil total seja superior a 150 Kg/m² de área de pavimento.
- Inércia térmica pesada (a situação mais corrente em edifícios de habitação) A massa superficial útil do pavimento e do tecto é superior a 300 Kg/m² e a das paredes é superior a 100 Kg/m².

3.4 Condutibilidade Térmica

A condutibilidade térmica caracteriza a maior ou menor facilidade que um determinado material possui em conduzir o calor, ou seja, “... é uma propriedade térmica típica de um material homogéneo que é igual à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e de área unitárias desse material por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces.” [23]

A condutibilidade térmica varia com a densidade, com o teor em humidade e com a temperatura do material. Quanto mais baixo for o seu valor melhor isolante térmico é o material. As unidades em que está expressa esta grandeza são o W/(m.°C) ou W/(m.K).

Conhecendo a espessura (e) e a condutibilidade térmica de um material (λ), conhecemos a sua resistência térmica, que é dada pelo quociente entre ambas (e/λ), assim sendo, o conhecimento desta propriedade é muito útil não só para a escolha do melhor material para o isolamento térmico, como também pode ser útil, por exemplo, na determinação da espessura máxima a partir da qual determinado material, por exemplo do isolamento acústico que tem uma condutibilidade térmica baixa, prejudica a inércia térmica ao ficar com uma alta resistência térmica (3.6.1).

3.5 Ventilação Natural

A ventilação natural é um fenómeno natural que ocorre nos edifícios sempre que existem diferenças de pressão, devidas à acção do vento na envolvente exterior.

“A pressão do vento sobre a fachada exposta e (negativa) sobre a fachada oposta gera uma ventilação natural dos espaços, atravessando frinchas, janelas e portas.” [29]

A ventilação natural ocorre também sempre que se registem diferenças de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, sendo este efeito tanto mais eficiente quanto maiores forem essas diferenças.

Nos edifícios, para que se verifique a renovação do ar, basta que haja infiltrações de ar, o que inevitavelmente arrefecerá o ambiente interior e afectará o conforto térmico e individual dos seus ocupantes. O conforto individual costuma ser definido como uma sensação de bem-estar físico e psíquico e o conforto térmico como sendo o ponto em que o indivíduo despende a menor quantidade de energia para se adaptar ao seu ambiente.

“Esta sensação de bem-estar físico e psíquico refere-se à reacção à temperatura e à humidade relativa do ar envolvente, ou seja, o denominado conforto higrotérmico.” [4]

Assim sendo, num ambiente frio o corpo perde calor rapidamente, enquanto num ambiente quente perde-o com excessiva lentidão. Se o ambiente estiver demasiado húmido, a evaporação da pele é lenta e incómoda, se por contrário, for demasiado seco, a pele e as superfícies respiratórias secam facilmente. Assim, no interior dos edifícios, quer sejam de habitação ou serviços, há que considerar também a sua ventilação.

“No nosso clima, a ventilação natural conjugada com uma adequada inércia térmica, permite que, nos espaços interiores, sejam minimizados os ganhos excessivos e os extremos de calor pois a inércia térmica garante a estabilidade térmica interior ao longo de todo o ano, enquanto a ventilação natural permite a redução imediata de extremos de temperatura.” [29]

3.6 Isolamento Térmico

Pode-se definir o isolamento térmico, como sendo um processo pelo qual, utilizando materiais adequados, se dificulta a dissipação de calor de um corpo ou de um ambiente, em que esse calor será a energia acumulada por um determinado corpo, ou a energia em trânsito de um espaço para outro devido às diferenças de temperatura. A transferência de calor, como se viu acima, pode ocorrer por condução, convecção ou radiação. Assim, conhecer a forma como o calor é transportado pode ser útil para evitar o fluxo indesejado de calor.

O isolamento térmico nas construções tem a função de manter o conforto térmico no interior dessas construções, ou seja, por um lado não deixar escapar a temperatura atingida no seu interior e por outro, impedir que a temperatura exterior penetre no seu interior, protegendo-as. Uma forma simples de manter a temperatura desejada, num corpo ou espaço, é rodear esse corpo ou espaço por um mau condutor de calor, ou seja, um isolante térmico, impedindo assim que o meio exterior influencie essa temperatura.

3.6.1 Isolantes térmicos

Convencionalmente, consideram-se Isolantes Térmicos os materiais e produtos que apresentam uma condutibilidade térmica inferior a $0,065 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ e uma resistência térmica superior a $0,300 \text{ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)/W}$. [23]

“Um isolante térmico é um produto em que a relação, resistência térmica/espessura é significativamente superior à que pode ser obtida com os materiais de construção correntes, como por exemplo: o betão, a pedra, o vidro e o material cerâmico.” [17]

Os materiais de isolamento, normalmente necessários numa construção convencional e essenciais numa construção leve, produzem melhores resultados quando são de materiais celulares opacos, isto é, de porosidade fechada, e com células de dimensões reduzidas, dificultando os fenómenos de convecção.

A presença de humidade, em particular, sob a forma líquida, é de evitar pois provoca um aumento das trocas térmicas por condução e eventualmente por condensação.

“Na prática, os critérios técnico-econômicos traduzidos pela relação custo/resistência térmica (após aplicação) permitem a produção e utilização de uma grande variedade de produtos, quer celulares, quer fibrosos, apresentados sob a forma de placas, mantas, ou de materiais soltos (grânulos e fibras) com massas volúmicas diversificadas.” [17]

Os diversos materiais com utilização no isolamento térmico de edifícios, classificam-se, quanto à sua origem e forma de obtenção em materiais orgânicos, inorgânicos e mistos.

Como materiais orgânicos temos os materiais naturais, como por exemplo a cortiça natural, cortiça expandida (regranulado negro de cortiça, figura 18), as partículas e fibras de madeira, fibras de celulose (papel, cartão) e as fibras vegetais diversas (por exemplo de coco), e os materiais sintéticos, mais conhecidos e utilizados na construção, como por exemplo, o poliestireno expandido (XPS, figura 19), as espumas rígidas de poliuretano (PIR/PUR), o polietileno expandido, as espumas elastoméricas, de cloreto de polivinilo, espuma rígida fenólica e as fibras sintéticas.

Como materiais inorgânicos, temos os materiais naturais não transformados como as escórias vulcânicas, a pedra-pomes e os tufos vulcânicos, e os materiais naturais transformados, como as fibras minerais (de vidro, de rocha e de escórias), a argila expandida, o betão celular autoclavado, a vermiculite e a perlite expandidas, o vidro celular, o xisto e a ardósia expandidos.



Figura 18: Regranulado negro de cortiça



Figura 19: Poliestireno extrudido (XPS)

Como produtos mistos, temos os grânulos de perlite expandida, associados a fibras celulósicas e minerais, os aglutinados com betume, as fibras e partículas de madeira aglutinadas com cimento, os grânulos de cortiça envolvidos em argamassa de cimento, betões e argamassas de inertes leves.

3.6.2 Materiais de mudança de fase (PCM)

Por definição, materiais de mudança de fase são substâncias, “... *como sais inorgânicos, misturas eutéticas (mistura, de dois ou mais sólidos, em que o ponto de fusão é mais baixo que o dos seus constituintes isolados) e compostos inorgânicos, que podem armazenar energia térmica.*” [17]

Quando aquecidos, estes materiais, tornam-se líquidos e com a propriedade de armazenar energia através do calor latente térmico e quando arrefecem, solidificam e libertam calor. Um dos principais problemas com os actuais materiais de construção, em comparação com as paredes de alvenaria de adobe, é a sua reduzida resistência térmica, o que leva a que no interior das construções hajam grandes flutuações de temperatura, gerando grandes consumos energéticos para a sua climatização. Na figura 20 temos um exemplo de aplicação destes materiais à construção.

A principal desvantagem do armazenamento sob a forma de calor sensível é estar dependente do volume, especialmente quando a variação de temperatura desejada é

pequena. O calor latente é mais eficiente do que calor sensível devido à sua elevada densidade de armazenamento com menor variação de temperatura.



Figura 20: PCM na construção - Kent, Inglaterra [51]

“A utilização de materiais de mudança de fase em edifícios poderá fazer aumentar a capacidade de armazenamento de energia térmica nos mesmos, de forma a manter, pelo maior tempo possível e com um custo aceitável, a temperatura na zona de conforto.” [30]

Os compostos de mudança de fase possuem um elevado calor de fusão e por essa razão são capazes de absorver uma grande quantidade de energia durante a sua fusão, e libertá-la durante a solidificação, isto numa gama de temperaturas bastante estreita. Estes materiais permitem assim absorver energia térmica num determinado momento sob a forma de calor latente, libertando-a posteriormente. A transferência de energia térmica ocorre quando uma material muda de estado, de sólido para líquido ou de líquido para sólido.

“Ao contrário de materiais convencionais de armazenamento (armazenamento por calor sensível), os materiais de mudança de fase absorvem e libertam energia a uma temperatura constante, armazenando de 5 a 14 vezes mais calor por unidade de volume do que os materiais de armazenamento sensível como a água ou a pedra.” [30]

Existem três classes de PCM disponíveis: orgânicos, hidratos de sais e sais fundidos. A parafina (figura 21) é o único PCM orgânico que está a ser usado em larga escala,

normalmente em placas (figura 22) compostas por duas folhas de alumínio laminado e miolo em cera de parafina [31].



Figura 21: Cera de parafina em placas [31]

“A cera de parafina é uma substância sólida, branca e translúcida, sem cheiro e de fácil fusão. É uma mistura de hidrocarbonetos obtida da destilação do petróleo. É uma das substâncias chamadas de PCM (phase change material), ou material que muda de estado físico” [31]



Figura 22: Painel com miolo de cera de parafina [31]

CAPÍTULO 4
Campanha experimental

4. CAMPANHA EXPERIMENTAL

4.1 Motivação

4.2 Localização das Células de Teste

4.3 Instalação, Instrumentação e Monitorização das Células

4.4 Dados Climáticos

4.4.1 Vento

4.4.2 Humidade Relativa

4.4.3 Precipitação

4.4.4 Radiação

4. CAMPANHA EXPERIMENTAL

4.1 Motivação

Perante o desafio da sustentabilidade torna-se fundamental o desenvolvimento de novos estudos experimentais que acrescentem informações ao correcto comportamento dos materiais e estruturas das construções em alvenaria de adobe. Esses estudos poderão ser importantes bases científicas na correcta avaliação térmica, acústica e estrutural, e poderá sustentar uma calibração mais rigorosa de futuros modelos numéricos, que venham a ser adoptados.

Com vista ao estudo do comportamento térmico das alvenarias de adobe e no seguimento da Dissertação homónima realizada em 2010, efectuou-se uma campanha de recolha de dados a partir da instrumentação de três células de teste, construídas durante essa tese homónima, à escala $\frac{1}{4}$ com alvenaria de adobe (igualmente à escala).

As características das três células de teste eram as seguintes:

- A célula de teste A, denominada daqui em diante como célula A (reciclados), era constituída por alvenaria de adobes reciclados cortados à escala;
- A célula de teste B, denominada daqui em diante como célula B (novos), era constituída por alvenaria de adobes fabricados de novo, à escala;
- A célula de teste C, denominada daqui em diante como célula C (cortiça), era constituída por alvenaria de adobes fabricados de novo, em tudo idênticos aos novos, mas com a incorporação de regranulado negro de cortiça;

Todo o processo de fabricação dos adobes e de construção das células de teste, encontra-se descrito pormenorizadamente em Meneses [32].

A campanha experimental decorreu em duas partes distintas quanto à ventilação do interior das células, ou seja, inicialmente o seu interior não era ventilado, tendo sido posteriormente abertos orifícios de diâmetro correspondente a uma taxa de renovações do ar por hora igual à unidade (cálculo apresentado no Capítulo 5), isto é, uma renovação do

ar interior das células por hora, com o objectivo de se observar a influência da ventilação natural no comportamento térmico deste tipo de construções, em alvenaria de adobe.

4.2 Localização das Células de Teste

As células de teste de alvenaria de adobe, encontravam-se localizadas entre o Departamento de Engenharia Mecânica e o Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, junto a este último, num local onde existiam diversas condicionantes para os resultados obtidos, nomeadamente a pouca exposição solar motivada pela obstrução proporcionada pelos referidos departamentos, nomeadamente o de Engenharia Civil, ou seja, durante a maior parte do dia as células encontravam-se na sombra mesmo durante a estação do Verão. Outra das condicionantes deste local era o facto de ser propício a deslocações de massas de ar que, eventualmente, poderiam ser canalizadas entre os referidos departamentos.

Face a estas condicionantes, uma das primeiras prioridades estabelecidas foi a de encontrar um local no campus universitário que, simultaneamente, fosse livre de obstruções durante todo o dia, tanto à radiação solar como ao vento, perto de um ponto de fornecimento de electricidade, seguro à intrusão e se possível permitisse o abrigo do sistema de aquisição de dados (computador).

As localizações sugeridas foram três (figura 23), sendo uma no estacionamento entre o Departamento de Geociências e o Departamento de Comunicação e Arte, rapidamente abandonada por ser uma zona de tráfego, automóvel e pedonal, intenso, susceptível de causar intrusões, mesmo que inadvertidas, que danificassem as células, para além de poder ficar distante de um ponto de fornecimento de energia eléctrica. Outra localização sugerida foi junto do Pavilhão Polidesportivo Aristides Hall, do lado da Pista de Atletismo, que seria um local mais facilmente alimentado electricamente e mais resguardado em termos de tráfego (pedonal e automóvel), mas que poderia estar sujeito a algumas obstruções, nomeadamente por parte dos prédios da Cooperativa Chave e as árvores da Avenida da Universidade, ambos a Nascente. A terceira localização, que acabou por ser a adoptada, foi no interior da Estação Meteorológica da Universidade (figura 24), pois além de satisfazer

todos os pré-requisitos acima indicados, nomeadamente uma exposição solar adequada, ainda tinha a vantagem de dispor de um ponto de água, tão útil para os trabalhos de reparação que eventualmente fossem necessários realizar após o transporte das células.



Figura 23: Propostas para a localização das Células de teste



Figura 24: Localização e identificação das Células de teste

4.3 Instalação, Instrumentação e Monitorização das Células

Após a instalação das células na Estação Meteorológica da Universidade de Aveiro (figura 25), com as suas “fachadas” orientadas nos quatro pontos cardeais, Norte (N), Sul (S), Este (E) e Oeste (O ou W), procederam-se aos trabalhos de preparação da selagem das tampas e de reparação dos danos causados, tal como era previsível, pelo seu transporte desde o Departamento de Engenharia Civil (foto abaixo). Nestes trabalhos foram utilizados alguns adobes (que tinham sobrado) e as argamassas, de terra crua, próprios de cada célula. Na composição e traço em volume das argamassas utilizadas, foram seguidas as indicações deixadas por Meneses [32].



Figura 25: Células de teste após o transporte

Para protecção em caso de precipitação, evitando assim as infiltrações sobre o topo das paredes e a acumulação de água sobre as tampas, constituídas por duas placas de contraplacado marítimo a unir uma camada de duas placas, de 4 cm cada, de poliestireno extrudido (XPS), que poderia fragilizar essa uniões, e também para evitar a erosão que poderia ser causada pelas gotas da chuva (ou granizo), foram executadas e fixas ao tampo, estruturas leves, mas suficientemente resistentes ao vento, em madeira (figura 26), para fixação da cobertura em plástico transparente.



Figura 26: Estrutura em madeira para fixar a cobertura das células

Na instrumentação foi usado um sistema de aquisição de dados, mais concretamente de temperaturas, da ICP - International Confort Products, constituído por “*Data Logger*” e doze sensores de temperatura do tipo PT100. Este tipo de sensores, de elevada precisão, permite o registo de valores numa gama ampla de temperaturas, desde os -100 °C a +200 °C, em meios sólidos ou líquidos pois as pontas de prova são encapsuladas.

O esquema adoptado foi similar ao usado no trabalho de Meneses [32], com quatro sensores de temperatura por célula, distribuídos (e designados) do seguinte modo:

- Um sensor na superfície exterior da parede (Superfície ext.);
- Um sensor no interior da parede (leituras não usadas nos resultados);
- Um sensor na superfície interior da parede (Superfície int.);
- Um sensor no centro do volume interior (Centro célula A, B ou C).

Os sensores de temperatura estavam ligados por cabo ao “*Data Logger*”, hermeticamente fechado, que registava os valores das temperaturas em intervalos de um minuto. Para armazenamento de todos esses registos o “*Data Logger*” foi ligado por cabo USB (“*Universal Serial Bus*”) a um computador instalado no interior do contentor (cabine técnica) implantado ao lado do recinto da estação meteorológica (figura 27).



Figura 27: Sistema de aquisição de dados

Após todos os trabalhos de reparação e posterior instrumentação (figura 28), foram colocadas e seladas as tampas das células, com espuma de poliuretano (PIR/PUR), por ser de fácil aplicação e que se expande naturalmente, preenchendo todos os espaços vazios, antes de solidificar, com o intuito de que todas as trocas fossem realizadas, o mais possível, pelas paredes de alvenaria de adobe. Por este motivo, foram também selados com esta espuma, os orifícios por onde os cabos dos sensores de temperatura atravessavam as paredes das células.



Figura 28: Células prontas para a monitorização

Na monitorização do sistema de aquisição foi utilizado o *Software* da *EZ Data Logger Basic Edition V4.3.3*, (figura 29) que permitiu, entre outras funcionalidades, a gravação dos valores de minuto a minuto durante as vinte e quatro horas dos dias de observação.

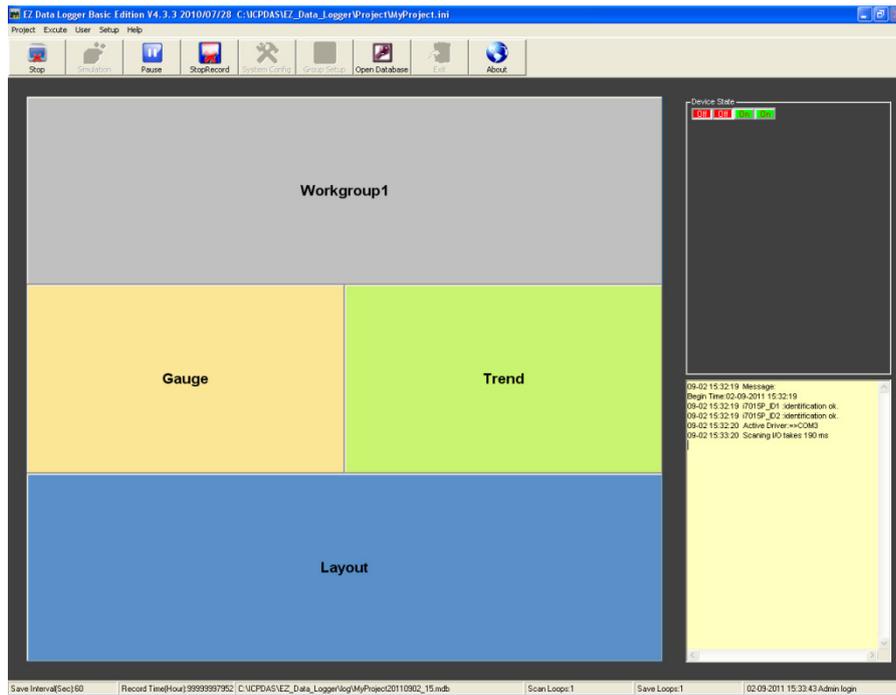


Figura 29: Interface do software de monitorização

O período de monitorização pode-se dividir em duas partes distintas. Na primeira parte da observação, correspondente aos dias de observação dos meses de Junho e Julho, os interiores das células não eram ventilados, e na segunda parte, a partir do início do mês de Agosto, foram realizados orifícios (figura 30) de diâmetros correspondentes a uma taxa de renovação horária unitária, isto é, que permitissem uma renovação do ar no interior das células a cada hora.



Figura 30: Orifício de ventilação

4.4 Dados Climáticos

Para a interpretação dos resultados, que serão apresentados e discutidos no Capítulo 5, foram solicitados e fornecidos, pelo Departamento de Física da Universidade de Aveiro, os dados climáticos diários relativos à temperatura, humidade relativa do ar, radiação solar, velocidade e direcção do vento e precipitação, que são os que mais directamente influenciam o conforto higrotérmico das construções [27], registados na sua Estação Meteorológica Automática localizada no Departamento, com as coordenadas geográficas 40,630° N, 8.657° W e a 23 metros de altura acima do zero hidrográfico.

4.4.1 Vento

“Por definição o vento é uma corrente ou movimento horizontal de ar, produzido na atmosfera por causas naturais.” [33]

Os dados climáticos relativos ao vento, ou seja, a sua velocidade e direcção, assumem um papel relevante na ventilação natural, pelo que o seu conhecimento, em especial após a abertura dos orifícios de ventilação natural, tornou-se um instrumento de análise dos resultados muito útil.

“São diversas as utilizações dos edifícios e/ou as necessidades dos seus ocupantes que exigem o conhecimento dos processos de ventilação natural (ou mecânica, nos casos em que se torna indispensável recorrermos a estes meios) de modo a serem garantidos determinados caudais de renovação de ar mínimos, como por exemplo, a garantia da estanquidade ao ar e poeiras, a satisfação das exigências da qualidade do ar no seu interior, a redução do risco de condensações e finalmente as cada vez mais importantes exigências de economia de energia.” [27]

Na figura 31 indicam-se os quadrantes principais com que se pode indicar a predominância da direcção do vento, uma vez que ao longo do dia ela vai alterando de direcção, e na figura 32 apresenta-se a direcção que o vento pode tomar em relação às células de teste. A direcção do vento indica o lado de onde ele vem. Os quatro quadrantes principais são:

- 1º Quadrante (1º Q) → compreendido entre o Norte (N) e o Este (E);
- 2º Quadrante (2º Q) → compreendido entre o Este (E) e o Sul (S);
- 3º Quadrante (3º Q) → compreendido entre o Sul (S) e o Oeste (W);
- 4º Quadrante → compreendido entre o Norte (N) e o Oeste (W);

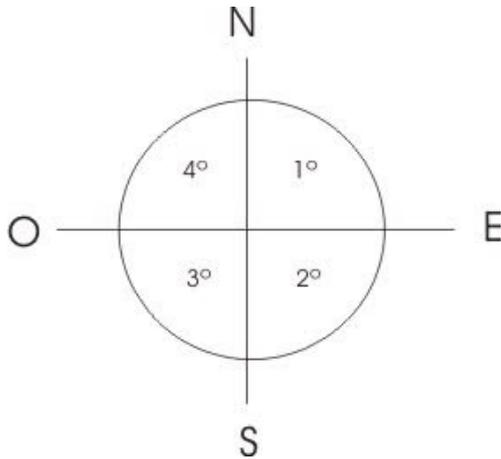


Figura 31: Quadrantes (Q) principais da direcção do vento

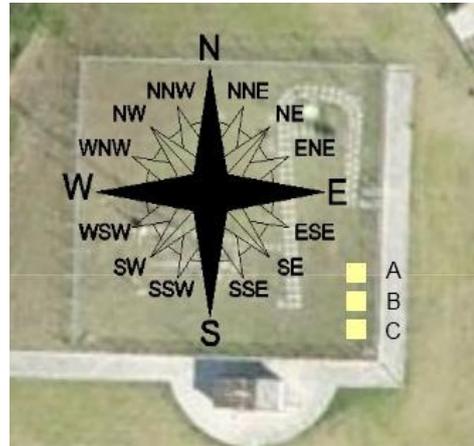


Figura 32: Direcção do vento em relação às células de teste

4.4.2 Humidade Relativa

A humidade relativa é a relação entre a quantidade de vapor de água existente na atmosfera a uma determinada temperatura e aquela para a qual o ar ficaria saturado a essa mesma temperatura. Exprime-se em percentagem. No caso de o ar estar saturado, a humidade relativa será igual a 100% e se o ar estiver absolutamente seco será igual a 0%. “A humidade relativa traduz o estado higrométrico do ar e avalia-se por meio de aparelhos denominados higrómetros.” [34]

4.4.3 Precipitação

A acção dos raios solares e do vento sobre as águas da superfície terrestre provoca o fenómeno da evaporação, que é a passagem da água do estado líquido para o estado de vapor. Devido a evaporação uma quantidade enorme de gotículas de água fica em suspensão na atmosfera, gotículas de água concentram-se, formando nuvens. Ao arrefecer, a água das nuvens precipita, em forma de chuva, por isso a chuva é um tipo de precipitação

pluvial. A quantidade de chuva que cai num lugar, num certo tempo é medida pelo udómetro e registada pelo udógrafo. *”Considera-se Precipitação todas as formas de água, líquida ou sólida, que caem das nuvens, alcançando o solo.”* [34]

4.4.4 Radiação

Pode-se considerar a radiação como sendo o processo pelo qual a energia é propagada em qualquer meio através do movimento da onda daquele meio.

“A radiação apresenta-se como uma forma de transferência de calor em que a energia é transferida de um objecto para outro sem que o espaço entre ambos seja, necessariamente, aquecido. No caso da atmosfera, a fonte de calor é o Sol. A energia radiante solar percorre o espaço sob a forma de ondas electromagnéticas e aquece a superfície terrestre sem causar um aumento significativo da temperatura do ar (...).” [35]

CAPÍTULO 5
Análise de resultados

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 Inércia Térmica das Células de Teste

5.1.1 Quantificação da inércia térmica interior

5.1.2 Classe de inércia térmica interior

5.2 Resultados sem Ventilação Natural das Células de Teste

5.2.1 Dia 22 de Junho de 2011

5.2.2 Dia 25 de Junho de 2011

5.2.3 Dia 5 de Julho de 2011

5.3 Resultados com Ventilação Natural das Células de Teste

5.3.1 Cálculo do diâmetro das aberturas de ventilação natural

5.3.2 Dia 5 de Agosto de 2011

5.3.3 Dia 9 de Agosto de 2011

5.3.4 Dia 10 de Agosto de 2011

5.4 Síntese de Resultados

5.4.1 Comportamento térmico das células de teste

5.4.2 Efeito da ventilação natural

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para melhor compreensão dos resultados observados apresenta-se na figura 33 uma representação virtual do sombreamento diário das células de teste na Estação do Verão.

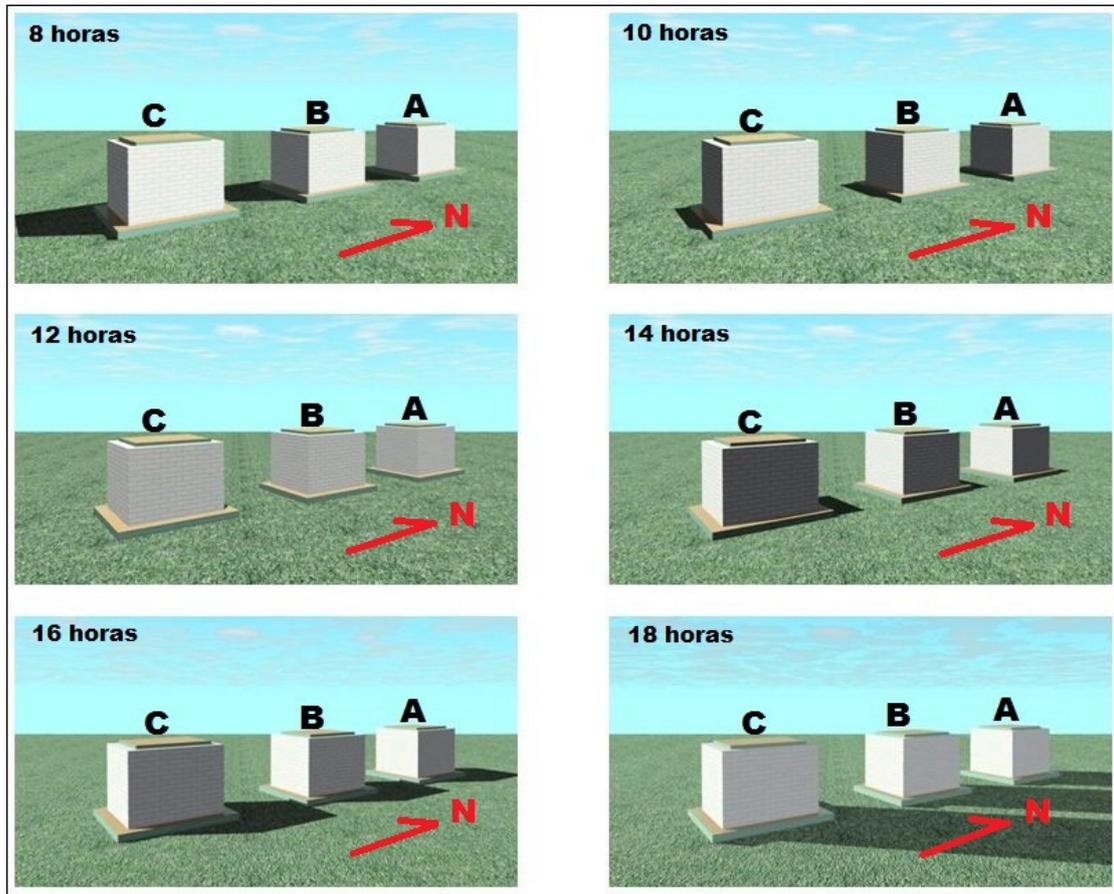


Figura 33: Representação do sombreamento diário

A selecção dos resultados diários apresentados e analisados neste capítulo, teve como único critério de escolha, os diferentes gráficos de temperaturas em função do tempo registados em cada dia, procurando-se com os dados climáticos referentes a esse dia, estabelecer as possíveis causas desse comportamento. Para melhor compreensão dos resultados começa-se por apresentar, para cada célula de teste, o gráfico das temperaturas ($^{\circ}\text{C}$), com a sobreposição do gráfico da radiação solar (W/m^2), ambas em função do tempo, e em seguida o gráfico com a compilação de todas as curvas das temperaturas interiores das células, com a sobreposição da humidade relativa, igualmente em função do tempo.

5.1 Inércia Térmica das Células de Teste

5.1.1 Quantificação da inércia térmica interior

Neste ponto determina-se a classe de inércia térmica do seu interior, seguindo o método descrito no Ponto 2 do ANEXO VII do RCCTE. [23]

Considerando as características dimensionais das células (figura 34) todas iguais, uma vez que as diferenças entre si só existem ao nível das dimensões interiores e apenas se cifram na ordem de um centímetro, vem:

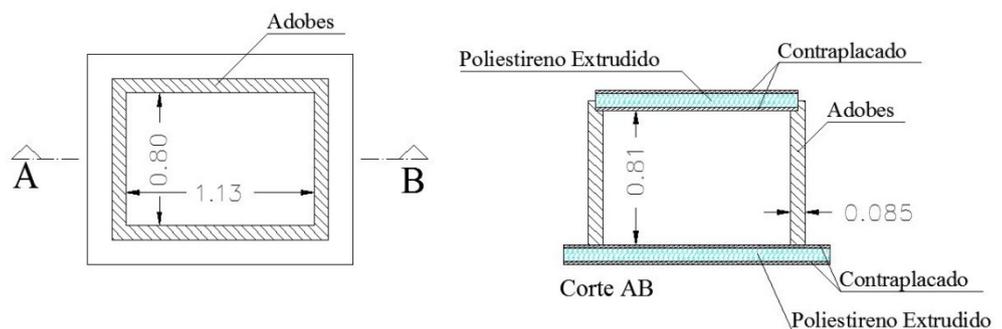


Figura 34: Características dimensionais das células

➤ Dados conhecidos:

Comprimento (l) = 1,13 m

Largura (b) = 0,80 m

Altura (h) = 0,81 m

Espessura das paredes de adobe (e_a) = 0,01 m (incluindo reboco)

Peso volúmico da alvenaria de adobe (T.T. [36]), (ρ_a) = 17 kN/m³ = 1700 kg/m³

Espessura do contraplacado (e_c) = 0,02 m

Condutibilidade térmica do contraplacado (ITE50 [37]), (λ) = 0,13 W/(m.°C)

Massa volúmica aparente seca do contraplacado (ρ_c) = 500 kg/m³ (ITE50 [37])

➤ A massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento (I_t) é dada pela expressão:

$$I_t = \frac{\sum Ms_i \times S_i}{A_p}$$

Em que:

Ms_i – massa superficial do elemento i (kg/m^2)

S_i – área da superfície interior do elemento i (m^2)

A_p – área útil de pavimento (m^2)

Cálculos auxiliares:

- Superfícies interiores da célula que contribuem para a quantificação da inércia térmica:

- Superfície das duas paredes “grandes” (S_1)

$$S_1 = l \times h \times 2 = 1,13 \times 0,81 \times 2 = 1,83 \text{ m}^2$$

- Superfície das duas paredes “pequenas” (S_2)

$$S_2 = b \times h \times 2 = 0,80 \times 0,81 \times 2 = 1,29 \text{ m}^2$$

- Superfície total das paredes de adobe (S_a)

$$S_a = S_1 + S_2 = 1,83 + 1,29 = 3,12 \text{ m}^2$$

- Superfície de “pavimento” (A_3)

$$S_3 = l \times b = 1,13 \times 0,80 = 0,90 \text{ m}^2$$

- Superfície de “cobertura” (A_4)

$$S_4 = l \times b = 1,13 \times 0,80 = 0,90 \text{ m}^2$$

- Superfície total de contraplacado (S_c)

$$S_c = S_3 + S_4 = 0,90 + 0,90 = 1,80 \text{ m}^2$$

- Área útil interior (A_p)

$$A_p = l \times b = 1,13 \times 0,80 = 0,90 \text{ m}^2$$

- Massas Superficiais úteis (Ms_i)

“A massa superficial útil de cada elemento de construção interveniente na inércia térmica é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e das características das soluções de isolamento térmico e de revestimento superficial.” [23]

Como nas paredes de adobe não existe isolamento térmico, contabilizou-se metade da sua espessura total, tendo em atenção que o RCCTE [23] limita o valor de cálculo a 150 kg/m^2 . Na cobertura e no pavimento existe oito cm de poliestireno extrudido (XPS), reconhecidamente um isolante térmico, pelo que contabilizou-se apenas os dois cm de contraplacado.

$$\text{Adobe: } M_{sa} = \rho_a \times e_a = 1700 \times 0,05 = 85,00(\text{kg}/\text{m}^2)$$

$$\text{Contraplacado: } M_{sc} = \rho_c \times e_c = 500 \times 0,02 = 10(\text{kg}/\text{m}^2)$$

Então a massa superficial útil é igual a:

$$I_t = \frac{(M_{sa} \times s_a + M_{sc} \times s_c)}{A_p} = \frac{(85,00 \times 3,12 + 10 \times 1,80)}{0,90} = 314,67(\text{kg}/\text{m}^2)$$

5.1.2 Classe de inércia térmica interior

A partir do valor da massa superficial útil, existem três classes de inércia possíveis [23], ou seja:

- $I_t < 150 (\text{kg}/\text{m}^2) \Rightarrow$ *Inércia Fraca*
- $150 \leq I_t \leq 400 (\text{kg}/\text{m}^2) \Rightarrow$ *Inércia Média*
- $I_t > 400 (\text{kg}/\text{m}^2) \Rightarrow$ *Inércia Forte*

Assim, as Células de teste A e B são de classe de inércia média. Para a Célula de teste C, o cálculo é idêntico, com a única diferença de se considerar uma redução de vinte por cento na sua massa volúmica [32], ou seja:

$$\text{Adobe com cortiça: } M_s = \rho \times e_a = 1700 \times 0,8 \times 0,05 = 68,00(\text{kg}/\text{m}^2)$$

$$I_{tc} = \frac{(M_s \times s_a + M_{sc} \times s_c)}{A_p} = \frac{(68,00 \times 3,12 + 10 \times 1,80)}{0,90} = 255,73(\text{kg}/\text{m}^2)$$

A Célula de teste C também é de classe de inércia média.

5.2 Resultados sem Ventilação Natural das Células de Teste

5.2.1 Dia 22 de Junho de 2011

Neste dia representativo do Verão de 2011 [38], registou-se uma temperatura máxima baixa para a época, assim como uma amplitude térmica igualmente baixa, tendo o céu apresentado alguma nebulosidade até meio da manhã. Conforme se pode constatar a partir da tabela 1 dos dados climáticos, a temperatura oscilou entre os 16,0 °C e os 19,8 °C, e o vento soprou durante todo dia (figura 35), sempre do quadrante entre o Norte e o Oeste (4º Quadrante), com maior intensidade a partir da tarde, onde por vezes soprou fresco [39]. A precipitação neste dia foi nula e a humidade relativa teve uma grande variação.

DADOS CLIMÁTICOS DO DIA 22/06/2011										
	Valores	Temperatura		Humidade Relativa		Precipitação		Vento		
		(°C)	Hora de registo	(%)	Hora de registo	(mm)	Hora de registo	v (m/s)	Hora de registo	direcção
	Max	19,8	12:50	93,0	2:10	0,0	--	8,0	18:00	NNW
	Min	16,0	5:40	58,0	13:30	0,0	--	1,8	5:50	N
	Média	17,8	--	77,7	--	0,0	--	4,7	--	4º Q

Tabela 1: Universidade de Aveiro – Dados climáticos relevantes do dia 22/06/ 2011

Na figura 35 é feita a representação vectorial da intensidade do vento em função do tempo, segundo o método convencional da meteorologia [40]. Observando essa figura conclui-se que o vento soprou ao longo desse dia, do Norte (topo do gráfico) e do 4º Quadrante (entre o Norte e o Oeste).

As figuras 36, 37, e 38, representam o desempenho individual de cada célula de teste ao longo das vinte e quatro horas do dia. Nelas são representadas as diferentes curvas de temperatura registadas durante a monitorização das células de teste, ou seja, a temperatura superficial exterior, a temperatura superficial interior e a temperatura do ambiente interior (centro do volume interior), juntamente com as curvas da temperatura do ambiente exterior e da radiação solar, cujos valores diários foram cedidos pelo Departamento de Física da Universidade de Aveiro. Na figura 39, de modo a se ter uma melhor perspectiva da prestação diária do conjunto das células de teste, é feita a compilação das curvas dos seus

centros (ambiente interior) juntamente com a curva da temperatura média superficial exterior, da curva da temperatura do ambiente exterior e a curva da humidade relativa.

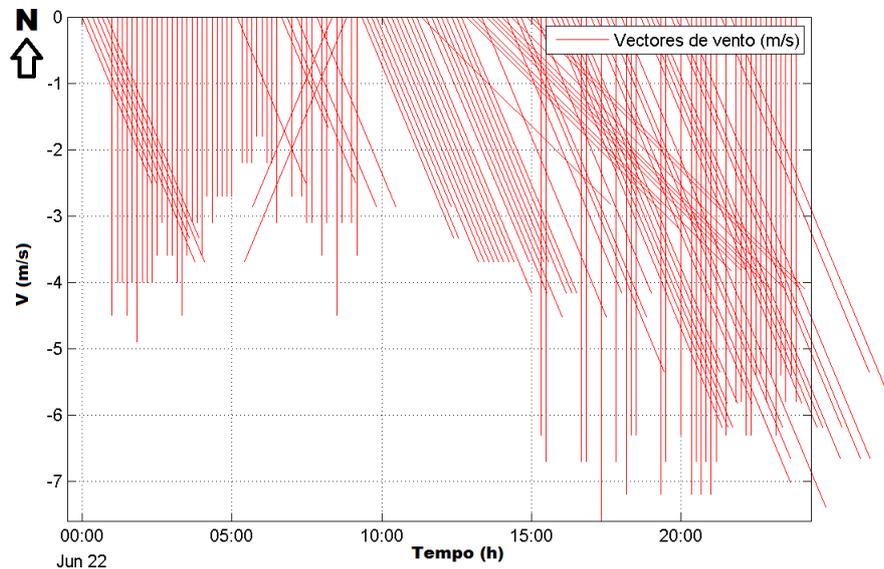


Figura 35: Representação vectorial do vento do dia 22/06/ 2011

Observando as figuras 36, 37 e 38, representativas dos gráficos das temperaturas ao longo do dia, destaca-se no período entre o nascer do sol e as onze horas da manhã, a grande correspondência entre a forma da curva da temperatura superficial exterior e a forma da curva da radiação solar, realçando assim a importância da exposição solar na inércia térmica, em especial durante a estação de aquecimento. A partir do momento em que as paredes onde estavam fixos os sensores, orientadas a Nascente, ficaram sombreadas pela própria localização do sol, essa correspondência deixou de existir. No dorso interior da parede, a curva da temperatura ainda tem um declive acentuado mas regular, significando que a parede absorveu todos os picos de temperatura, como é característica da alvenaria de adobe.

“A construção em terra é caracterizada por possuir uma elevada massa por unidade de superfície. Os edifícios que empregam esta tecnologia possuem assim elevada inércia térmica, ...” [3]

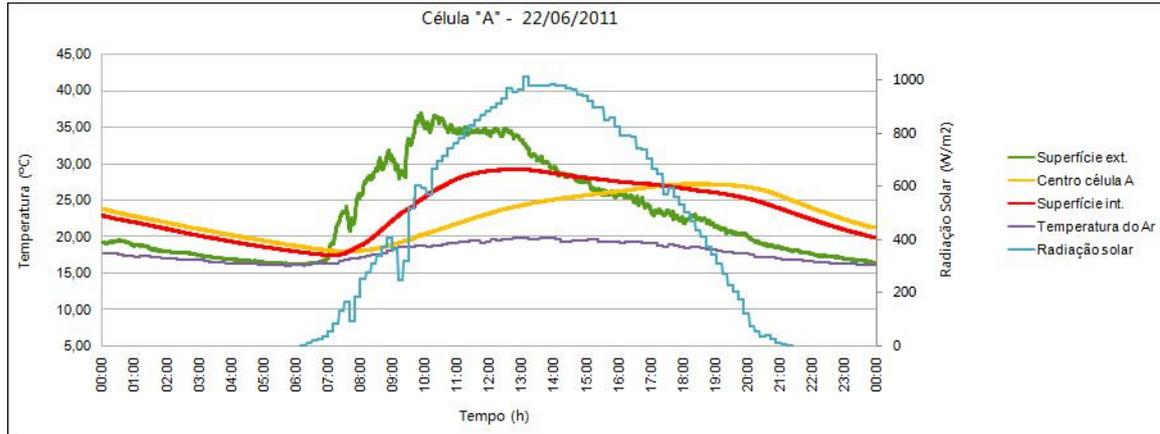


Figura 36: Temperaturas da célula "A" no dia 22 de Junho de 2011

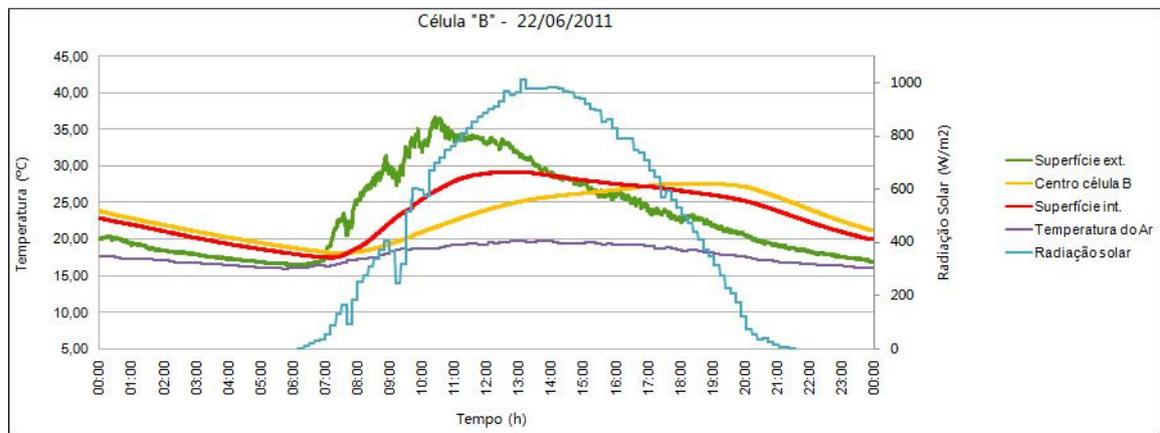


Figura 37: Temperaturas da célula "B" no dia 22 de Junho de 2011

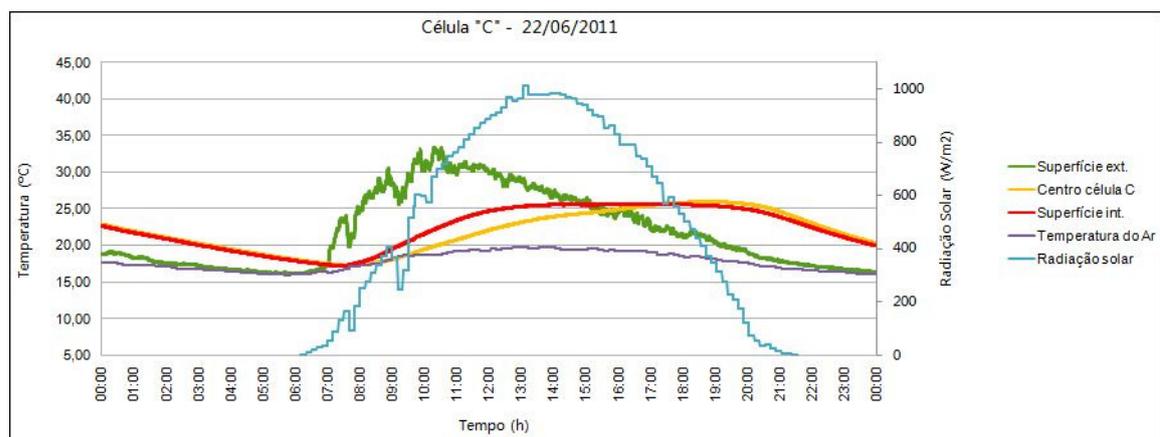


Figura 38: Temperaturas da célula "C" no dia 22 de Junho de 2011

Da figura 39 e tabela 2, que resumem o desempenho térmico do interior das células em relação à temperatura superficial exterior média, conclui-se que esse desempenho correspondeu ao esperado pois não só a amplitude térmica no seu interior foi muito inferior à amplitude térmica superficial exterior, como também se registou um bom amortecimento (ξ) entre a temperatura média máxima exterior e temperaturas máximas interiores e ainda um grande atraso (F_a) entre o momento dessas ocorrências, evidenciando neste caso o papel da inércia térmica da alvenaria de adobe. A Célula C (cortiça) demonstrou um melhor desempenho, em relação às células A e B, com uma menor amplitude térmica e um maior amortecimento (ξ) da sua temperatura máxima interior, em relação à temperatura do ar exterior. Como este desempenho não terá sido devido à sua inércia térmica, pois é inferior, apesar de ser da mesma classe das outras células, só poderá ter sido devido à incorporação do regranulado de cortiça na constituição dos adobes da sua alvenaria, demonstrando assim não só as possibilidades deste material, como também o benefício que se pode obter perdendo um pouco de inércia mas ganhando em isolamento térmico, sempre que exista uma correcta conjugação entre estas características. As células A e B revelaram um comportamento muito idêntico demonstrando que deverão ter, tal como foi calculado em 5.1.1, uma inércia térmica muito semelhante.

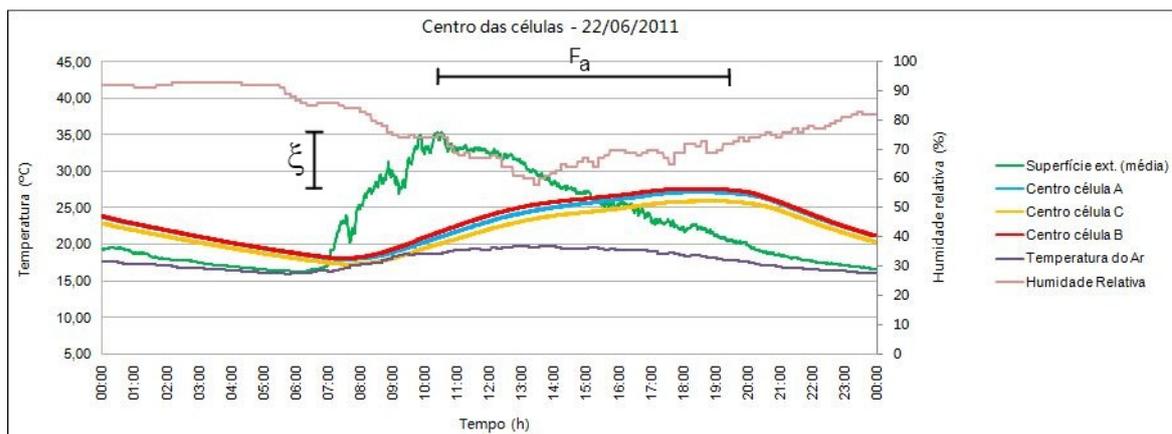


Figura 39: Temperaturas dos centros das três células no dia 22 de Junho de 2011

Resultados experimentais – Dia 22 de Junho de 2011						
Referência	Temperatura (°C)			Comparação entre temperaturas máximas		
	Max	Min	Amplitude	Hora de registo	ξ (°C)	Fa (h)
Superfície Exterior (média)	35,31	16,29	19,02	10:31	--	--
Centro da Célula A	27,21	17,95	9,26	18:22	8,10	7:51
Centro da Célula B	27,65	18,05	9,60	18:06	7,66	7:35
Centro da Célula C	25,98	17,29	8,69	18:40	9,33	8:09

Tabela 2: Resultados experimentais do dia 22/06/ 2011

5.2.2 Dia 25 de Junho de 2011

Um dia típico de Verão, com sol, temperaturas altas, e vento fraco. Conforme se pode constatar a partir da tabela 3 dos dados climáticos e da figura 40 da representação vectorial do vento, a temperatura oscilou entre os 16,8 °C e os 28,3 °C, o vento predominante soprou no quadrante entre o Norte e o Oeste (4º Quadrante), soprando com maior intensidade durante a segunda metade do dia. A humidade relativa voltou a ter uma grande variação, sendo por vezes bastante baixa durante as horas de sol, e a precipitação foi nula.

DADOS CLIMÁTICOS DO DIA 25/06/2011										
	Valores	Temperatura		Humidade Relativa		Precipitação		Vento		
		(°C)	Hora de registo	(%)	Hora de registo	(mm)	Hora de registo	V (m/s)	Hora de registo	direcção
	Max	27,7	15:50	86,0	1:50	0,0	--	3,6	12:10	WNW
	Min	16,6	4:00	48,0	15:50	0,0	--	0,0	--	--
	Média	22,4	--	69,8	--	0,0	--	1,1	--	4° Q

Tabela 3: Universidade de Aveiro – Dados climáticos relevantes do dia 25/06/ 2011

Pela observação da figura 40 conclui-se que o vento, neste dia, começou por soprar de Sul (parte inferior do gráfico) tendo a partir do meio do dia rodado para o quadrante entre o Norte (parte superior do gráfico) e o Oeste (lado esquerdo do gráfico).

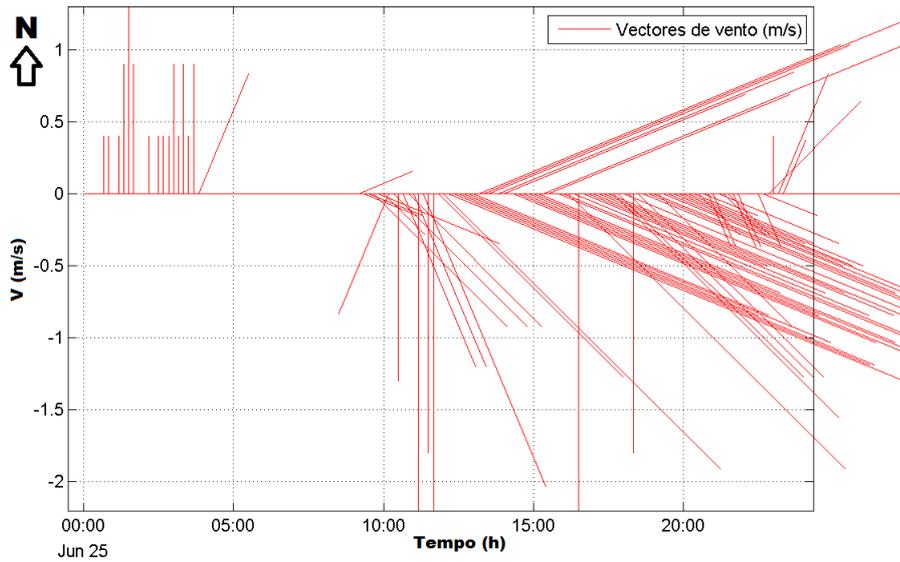


Figura 40: Representação vectorial do vento do dia 25/06/2011

Analisando os gráficos de temperatura em função do tempo e o gráfico da compilação do desempenho térmico das células de teste (figuras 41, 42, 43 e 44), observa-se um comportamento muito idêntico ao do dia 22 de Junho. A inércia térmica interior das células de teste volta a ser visível, com as curvas de temperatura interiores, superficial e do centro da célula, a serem, respectivamente, gradualmente mais suaves do que a curva da temperatura na superfície exterior. As menores temperaturas registadas na Célula C, demonstram mais uma vez as potencialidades da incorporação do regranulado de cortiça no fabrico dos adobes da sua alvenaria.

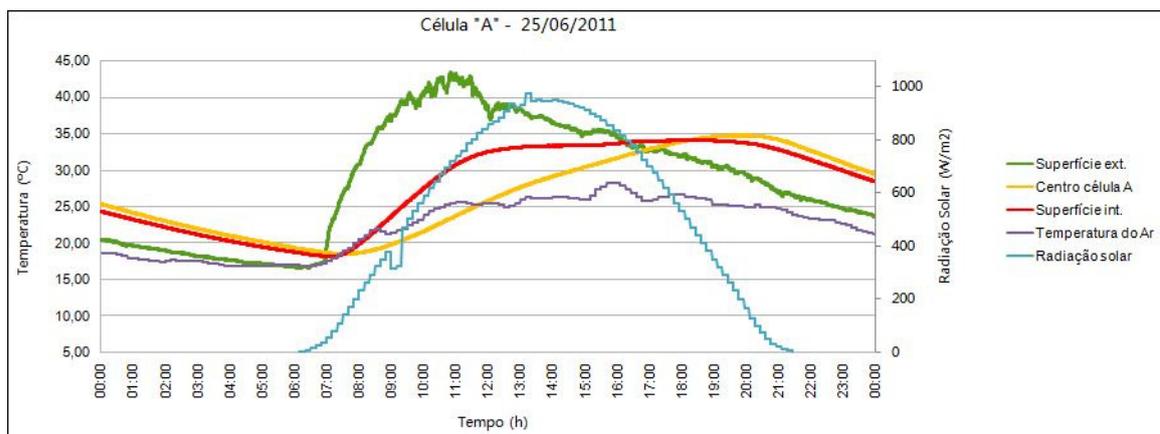


Figura 41: Temperaturas da célula “A” no dia 25 de Junho de 2011

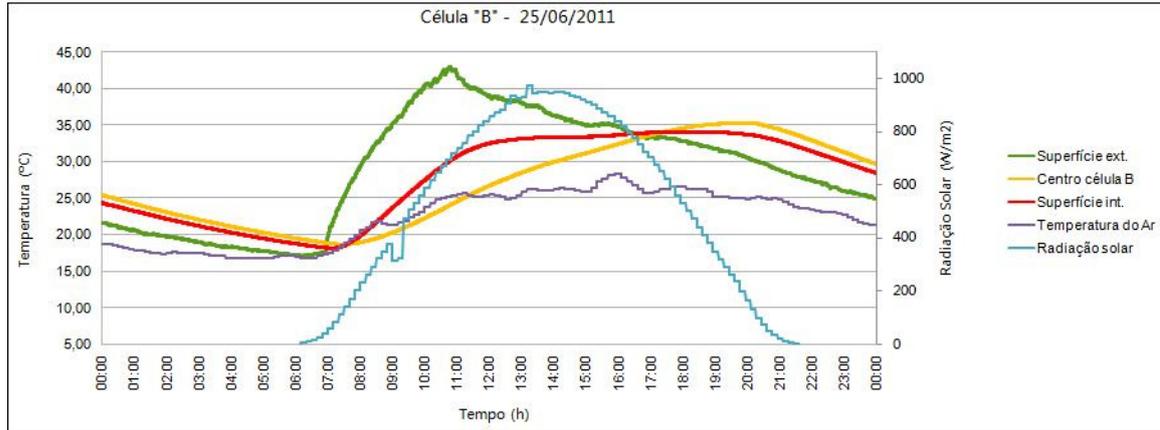


Figura 42: Temperaturas da célula "B" no dia 25 de Junho de 2011

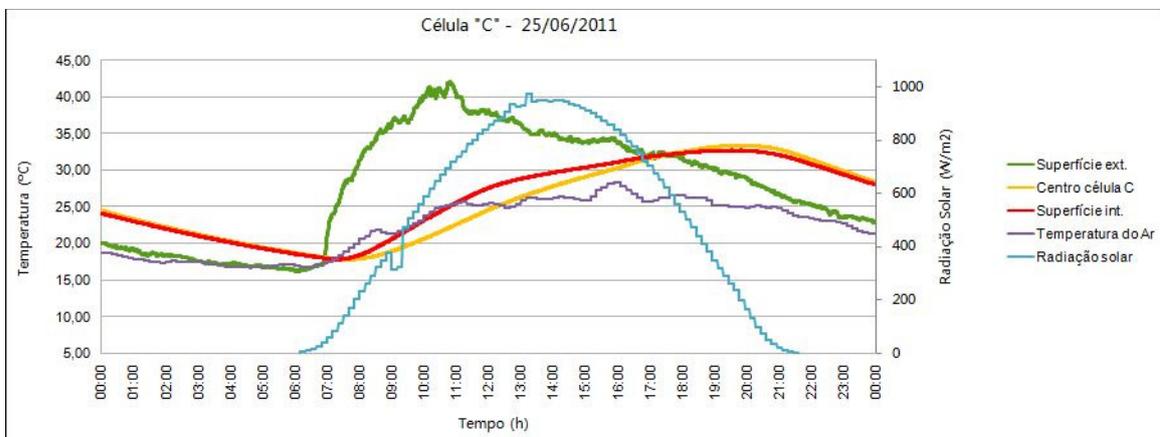


Figura 43: Temperaturas da célula "C" no dia 25 de Junho de 2011

Da figura 44 e tabela 4, que resumem o desempenho térmico do interior das células em relação à temperatura superficial exterior média, conclui-se que esse desempenho, no geral, voltou a corresponder ao esperado pois não só a amplitude térmica no seu interior foi inferior à amplitude térmica superficial exterior, como também se registou um bom amortecimento (ξ) entre a temperatura média máxima exterior e as temperaturas máximas interiores, e ainda um grande atraso (F_a) entre o momento dessas ocorrências, evidenciando neste caso o papel da inércia térmica da alvenaria de adobe. A Célula C (cortiça) demonstrou novamente um melhor desempenho, em relação às células A e B, com uma menor amplitude térmica e um maior amortecimento (ξ) da sua temperatura máxima interior.

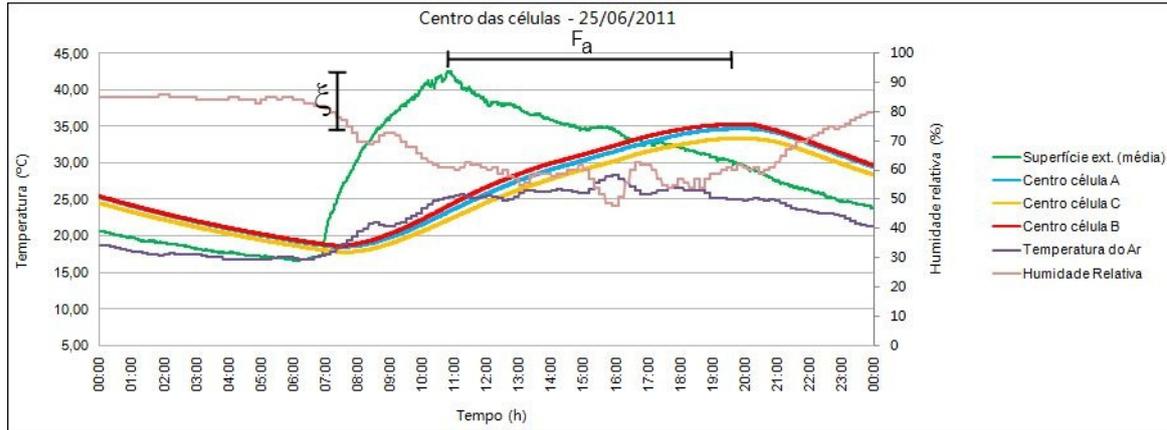


Figura 44: Temperaturas dos centros das três células no dia 25 de Junho de 2011

Resultados experimentais – Dia 25 de Junho de 2011						
Referência	Temperatura (°C)			Comparação entre temperaturas máximas		
	Max	Min	Amplitude	Hora de registo	ξ (°C)	Fa (h)
Superfície Exterior (média)	42,56	16,65	25,91	10:48	--	--
Centro da Célula A	34,75	18,49	16,26	19:49	7,81	9:01
Centro da Célula B	35,33	18,69	16,64	19:40	7,23	8:52
Centro da Célula C	33,43	17,82	15,61	19:51	9,13	9:03

Tabela 4: Resultados experimentais do dia 25/06/ 2011

Observando as figuras e comparando os dados da tabela 4, com os mesmos dados relativos ao dia 22 de Junho, conclui-se que o aumento na ordem dos sete graus centígrados da temperatura máxima exterior, causou diferenças na mesma ordem, tanto nas temperaturas máximas dos centros das células como nas amplitudes, para além de se ter verificado um amortecimento (ξ) das temperaturas máximas um pouco menores, será pertinente concluir que terá ocorrido um sobreaquecimento motivado pela falta de ventilação natural do interior das células. Esta será um dado relevante a ter em atenção na fase de ventilação natural das células.

5.2.3 Dia 5 de Julho de 2011

Este foi mais um dia de Verão de 2011 [38] com temperaturas baixas para a época e com períodos de tempo enevoado, nomeadamente desde o nascer do sol até às dez horas da manhã e o período entre o meio-dia e as quinze horas. Conforme se pode constatar a partir

da tabela 5 dos dados climáticos e da figura 45 da representação vectorial do vento, a temperatura oscilou entre os 15,0 °C e os 18,6 °C, o vento predominante soprou no quadrante entre o Norte e o Oeste (4º Quadrante), soprando com maior intensidade ao fim do dia. A humidade relativa manteve-se em alta durante todo o dia, com uma percentagem sempre acima dos setenta e um por cento, e a precipitação foi nula.

DADOS CLIMÁTICOS DO DIA 05/07/2011									
Valores	Temperatura		Humidade Relativa		Precipitação		Vento		
	(°C)	Hora de registo	(%)	Hora de registo	(mm)	Hora de registo	V (m/s)	Hora de registo	direcção
Max	22,1	17:00	92,0	22:50	0,0	--	4,9	13:00	WNW
Min	15,0	6:10	71,0	17:00	0,0	--	0	--	--
Média	18,6	--	84,5	--	0,0	--	2,0	--	4º Q

Tabela 5: Universidade de Aveiro – Dados climáticos relevantes do dia 05/07/ 2011

Pela observação da figura 45 é perceptível que praticamente durante todas as vinte e quatro horas do dia o vento soprou do 4º quadrante e com maior intensidade durante a sua 2ª metade, chegando a soprar por vezes moderado [39]. A excepção foi o período entre as seis e as nove horas onde chegou a soprar dos restantes quadrantes.

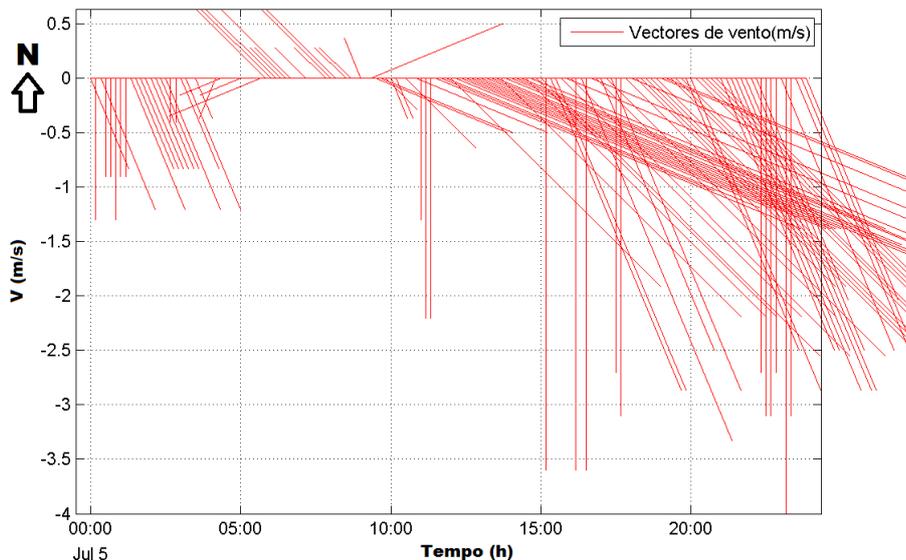


Figura 45: Representação vectorial do vento do dia 05/07/ 2011

Neste dia os gráficos representativos da temperatura em função do tempo, das células de teste A e B (figuras 46, 47 e 48), apresentaram um comportamento um pouco irregular, na

transição da noite para o dia, em que se passa de uma situação de libertação do calor armazenado no dia anterior, para uma situação de absorção do calor do próprio dia. Esta irregularidade, que foi mais perceptível na curva correspondente à superfície da parede interior das células, terá sido devida à humidade relativa alta (nessa altura próxima dos noventa por cento). No interior das células, devido à sua inércia térmica, esta irregularidade praticamente não se fez sentir. Neste aspecto a Célula C (figura 48) teve o melhor comportamento das três, pois as irregularidades apontadas não se registaram.

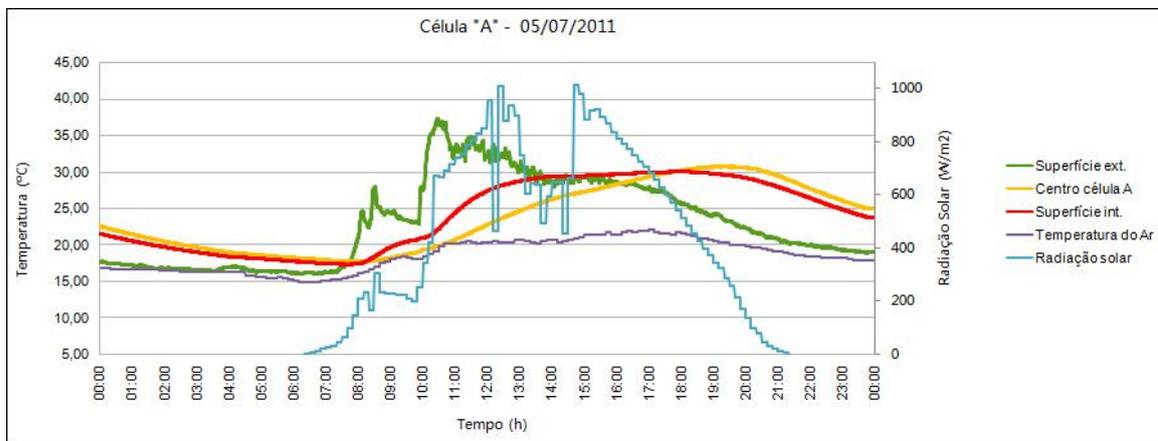


Figura 46: Temperaturas da célula “A” no dia 5 de Julho de 2011

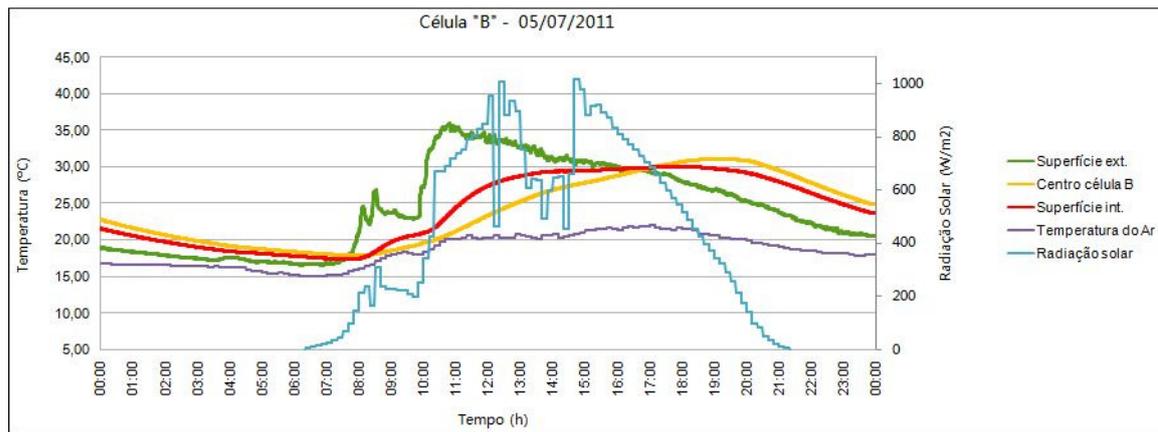


Figura 47: Temperaturas da célula “B” no dia 5 de Julho de 2011

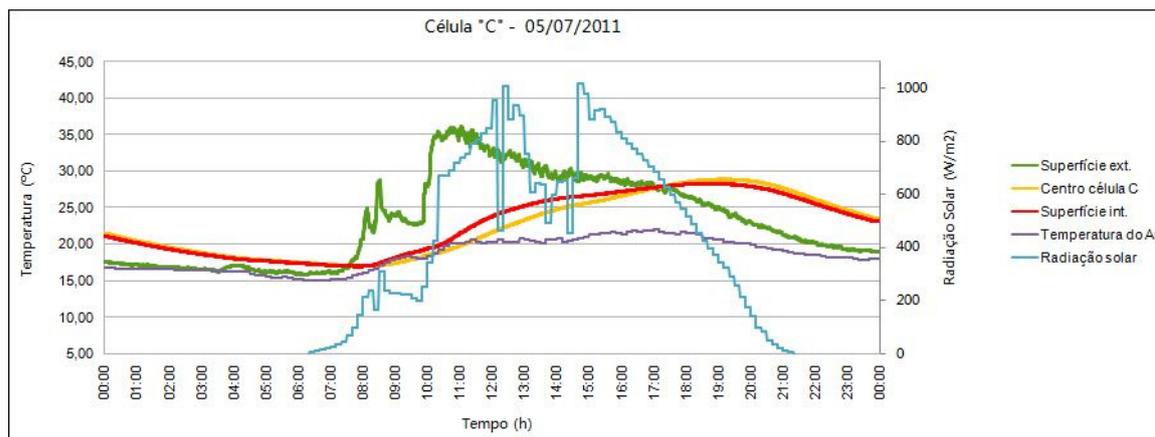


Figura 48: Temperaturas da célula “C” no dia 5 de Julho de 2011

Da figura 49 e tabela 6, que resumem o desempenho térmico do interior das células em relação à temperatura superficial exterior média, depreende-se que a humidade relativa, que se manteve em alta durante quase todo o dia, terá sido a principal responsável pelo desempenho menos bom das células neste dia, em relação ao do dia 22 de Junho. Mesmo assim, a amplitude térmica no interior das células continuou a ser inferior à amplitude térmica superficial exterior, registou-se igualmente um amortecimento (ξ) entre a máxima temperatura média exterior e todas as temperaturas máximas interiores, e continuou a haver um grande atraso (F_a) entre o momento dessas ocorrências. Mais uma vez a Célula C foi a que demonstrou o melhor desempenho das três, destacando-se mesmo em relação às células A e B, numa menor amplitude térmica e um maior amortecimento (ξ) da sua temperatura máxima interior, em relação à temperatura média da superfície exterior.

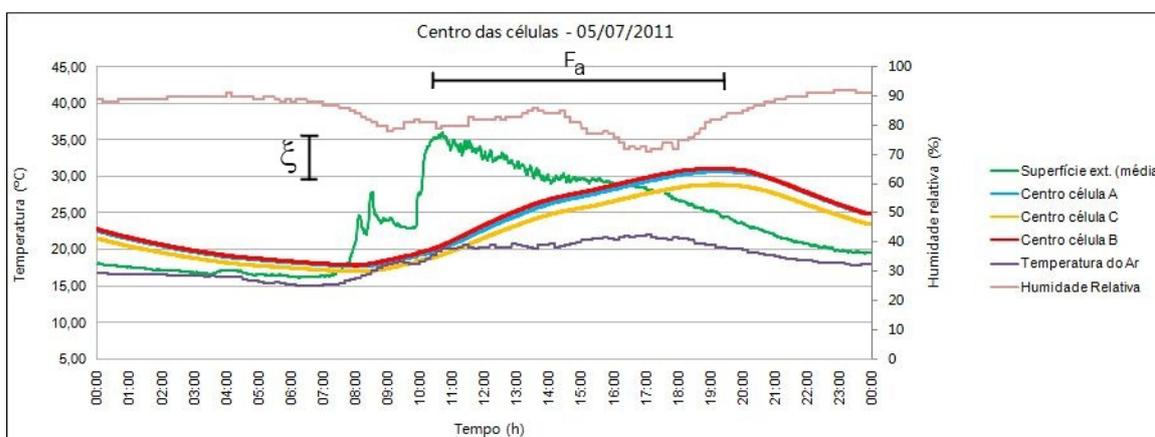


Figura 49: Temperaturas dos centros das três células no dia 5 de Julho de 2011

Resultados experimentais – Dia 5 de Julho de 2011						
Referência	Temperatura (°C)			Comparação entre temperaturas máximas		
	Max	Min	Amplitude	Hora de registo	ξ (°C)	Fa (h)
Superfície Exterior (média)	36,10	16,16	19,95	10:42	--	--
Centro da Célula A	30,73	17,71	13,02	19:04	5,38	8:22
Centro da Célula B	31,10	17,86	13,24	19:10	5,01	8:28
Centro da Célula C	28,89	17,00	11,89	18:59	7,22	8:17

Tabela 6: Resultados experimentais do dia 5/07/ 2011

5.3 Resultados com Ventilação Natural das Células de Teste

5.3.1 Cálculo do diâmetro das aberturas de ventilação natural

Para o cálculo do diâmetro das aberturas para a ventilação natural do interior das células de teste, foi considerado o método descrito no livro “Térmica de Edifícios”. [27] A taxa de renovação de ar nominal considerada foi de uma renovação por hora ($R_{ph}=1$). “Taxa de renovação do ar é o caudal horário de entrada de ar novo num edifício ou fracção autónoma para renovação do ar interior, expresso em múltiplos do volume interior útil do edifício ou da fracção autónoma.” [23]

Considerando as características dimensionais das células todas iguais, uma vez que as diferenças entre si, quando existem, apenas se cifram na ordem de um centímetro, vem:

- Volume interior

$$V = 1,13 \times 0,80 \times 0,81 = 0,732 \text{ m}^3$$
- Dimensões das fachadas

$$a = 1,32 \text{ m}$$

$$b = 0,99 \text{ m}$$

$$h = 1,17 \text{ m}$$
- Velocidade média do vento (v)

$$v = 2,75 \text{ m/s}$$

O valor adoptado da velocidade média do vento corresponde à média de todas as velocidades instantâneas registadas, em intervalos de cinco

minutos, pela estação meteorológica do Departamento de Física da Universidade de Aveiro, durante o ano de 2010.

- Coeficiente de descarga de orifícios (C_d)

$$C_d = 0,6$$

Sendo, o ar um fluido foi considerado para valor do coeficiente de descarga, o valor recomendado para orifícios circulares [41].

- Cálculos:

- Caudal de ventilação (Q_v)

$$Q_v = V \times R_{ph}$$

$$Q_v = 0,732 \times 1 = 0,732 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Coeficientes de Pressão (δ_{pe} e δ_{po}) [42]

$$\frac{h}{b} = \frac{1,17}{0,99} = 1,18$$

$$\frac{a}{b} = \frac{1,32}{0,99} = 1,33$$

Assim,

$$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2} \wedge 1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2} \Rightarrow \delta_{pe} = 0,7 \wedge \delta_{po} = -0,25$$

- Área das aberturas de ventilação natural (A)

$$A = \frac{\sqrt{2} \times Q_v}{C_d \times v \times \sqrt{\delta_{pe} - \delta_{po}}} \Leftrightarrow A = \frac{\sqrt{2} \times 0,732}{0,6 \times 2,75 \times 3600 \times \sqrt{0,95}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow A = 1,79 \text{ cm}^2 \Rightarrow \phi \cong 1,50 \text{ cm}$$

Assim, foram consideradas duas aberturas circulares com centímetro e meio de diâmetro cada, para as três células de teste. As aberturas foram executadas nas paredes, opostas entre si, orientadas a Nascente e a Poente, na parte inferior e parte superior, respectivamente (figura 50).

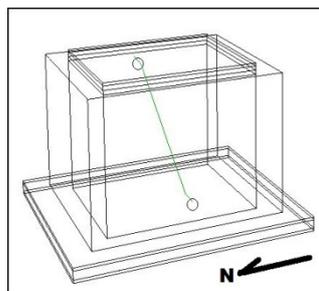


Figura 50: Aberturas da ventilação natural

5.3.2 Dia 5 de Agosto de 2011

O primeiro dia de registos com o interior das células naturalmente ventilado voltou a ser um dia de Verão com temperaturas baixas para a época e com períodos de tempo encoberto desde o nascer do sol até às dez horas da manhã, entre as treze e as catorze horas e o período entre as dezasseis e as dezassete horas. Conforme se pode constatar a partir da tabela 7 dos dados climáticos e da figura 51 da representação vectorial do vento, a temperatura oscilou entre os 17,7 °C e os 21,8 °C, o vento predominante soprou no quadrante entre o Norte e o Oeste (4º Quadrante) e a humidade relativa manteve-se em alta durante todo o dia com uma percentagem média acima dos oitenta e seis por cento.

DADOS CLIMÁTICOS DO DIA 05/08/2011										
	Valores	Temperatura		Humidade Relativa		Precipitação		Vento		
		(°C)	Hora de registo	(%)	Hora de registo	(mm)	Hora de registo	V (m/s)	Hora de registo	direcção
	Max	21,8	15:00	98,0	6:20	0,0	--	4,9	15:20	WNW
	Min	17,7	8:20	69,0	19:40	0,0	--	0	--	--
	Média	19,7	--	86,2	--	0,0	--	2,3	--	4º Q

Tabela 7: Universidade de Aveiro – Dados climáticos relevantes do dia 05/08/ 2011

Na figura 51 é possível verificar que praticamente durante dois terços do dia o vento soprou do 4º quadrante, com intensidade fraca a moderada [39]. Esta direcção dominante do vento é favorável à ventilação natural do interior das células, pois os orifícios estão nas paredes, opostas entre si, orientadas a Este e a Oeste.

À semelhança do dia 5 de Julho, os gráficos deste dia, representativos da temperatura em função do tempo (figuras 52, 53 e 54), das células de teste A e B, apresentaram um comportamento um pouco irregular, com uma rápida transição da situação de libertação do calor armazenado no dia anterior, para a situação de absorção do calor do próprio dia. Esta irregularidade, que foi mais perceptível na curva correspondente à superfície da parede interior das células, terá sido igualmente devida à humidade relativa alta (nesta altura próxima dos noventa por cento). No interior das células, devido à sua inércia térmica, esta irregularidade praticamente também não se fez sentir. Como habitual, a Célula C teve o melhor comportamento das três, pois apresentou curvas mais suaves e de menor amplitude.

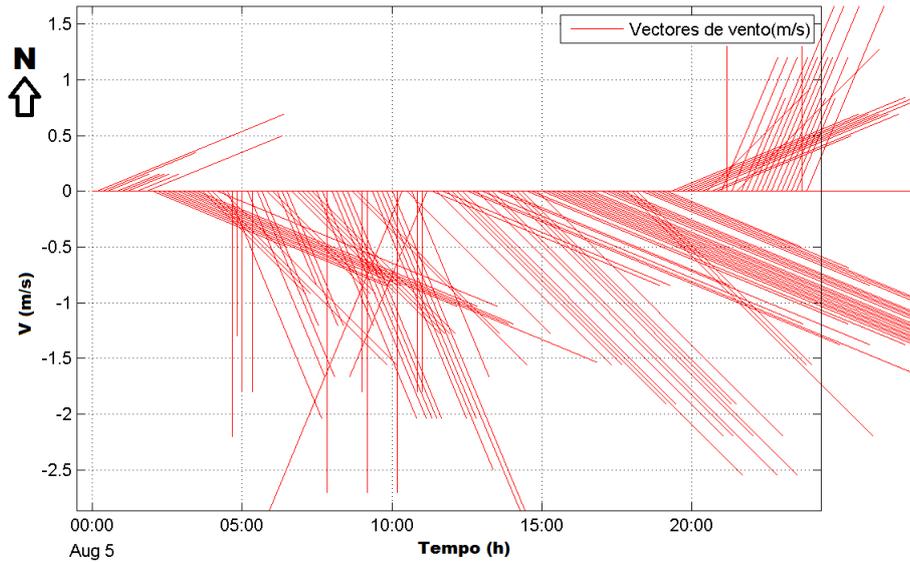


Figura 51: Representação vectorial do vento do dia 05/08/ 2011

A ventilação natural fez-se sentir nas Células A e B ao registar-se uma aproximação das curvas de temperatura superficiais às curvas de temperatura dos centros das células e ao registarem-se valores máximos mais baixos dessas temperaturas. No caso da Célula C tornou-se mais evidente este efeito ao registar-se as temperaturas mais altas no centro e as mais baixas junto da parede onde está fixo o sensor, que é a mesma onde existe o orifício superior da ventilação natural (parede orientada a Nascente). Esta diferença entre as células terá ficado a dever-se à cortiça presente na alvenaria da Célula C.

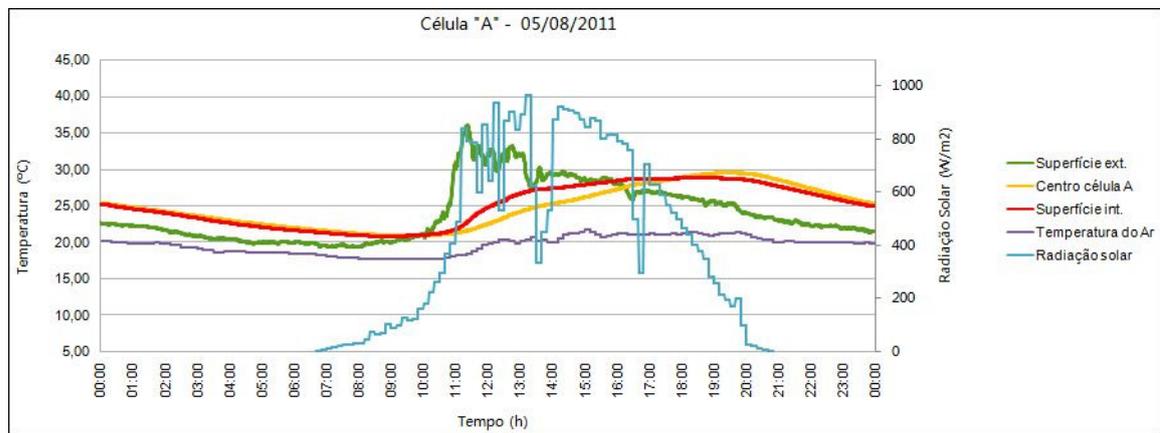


Figura 52: Temperaturas da célula "A" no dia 5 de Agosto de 2011

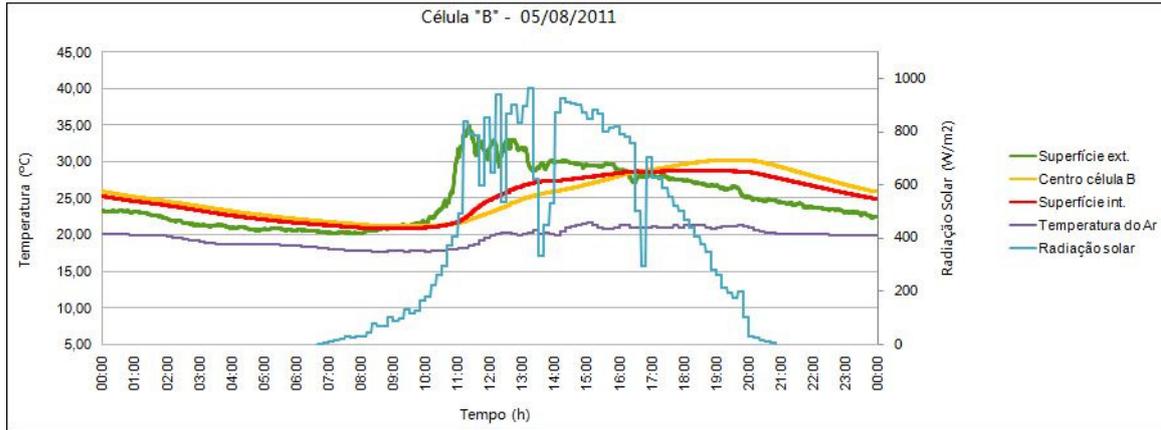


Figura 53: Temperaturas da célula "B" no dia 5 de Agosto de 2011

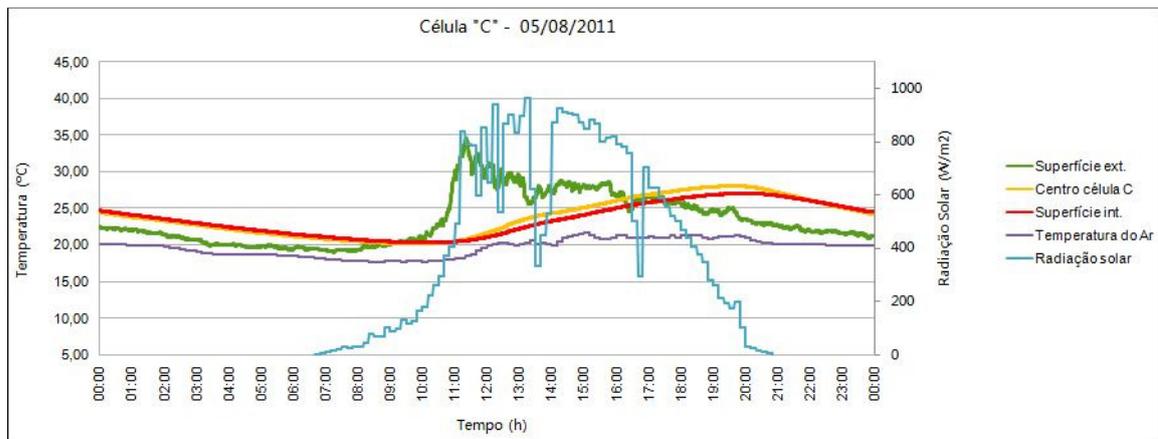


Figura 54: Temperaturas da célula "C" no dia 5 de Agosto de 2011

A figura 55 e tabela 8 resumem o desempenho térmico do interior das células em relação à temperatura superficial exterior média. Neste dia, em que as condições exteriores (climáticas) foram muito semelhantes às do dia 5 de Julho, com a temperatura máxima do ar baixa para a época e humidade relativa alta, foi possível verificar a influência que a ventilação natural das células de teste teve nos resultados finais, pois verificaram-se menores amplitudes térmicas, maiores amortecimentos (ξ) das temperaturas máximas e menores atrasos nessa ocorrência (F_a). A Célula C continuou a demonstrar o melhor desempenho das três células, assim como a Célula A também continuou a ter um melhor desempenho em relação à Célula B, devido à sua melhor inércia térmica.

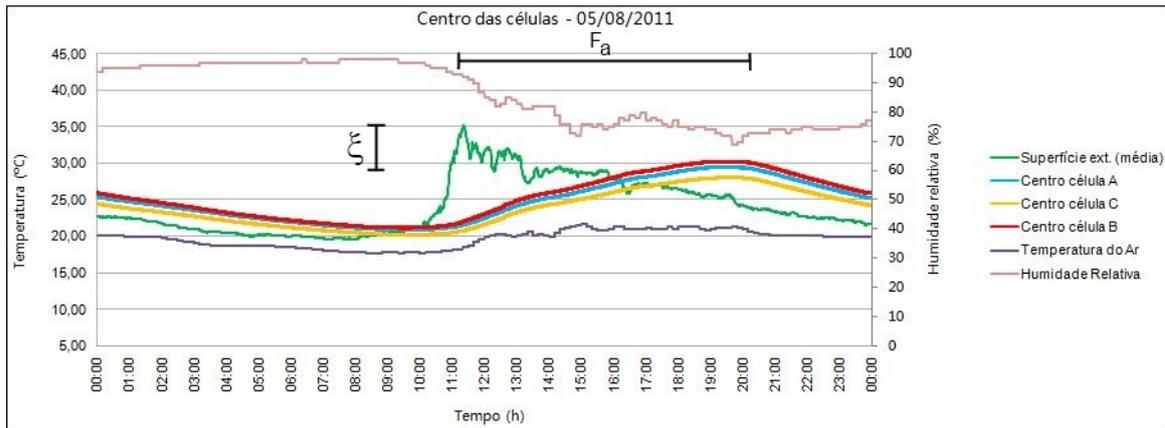


Figura 55: Temperaturas dos centros das três células no dia 5 de Agosto de 2011

Resultados experimentais – Dia 5 de Agosto de 2011						
Referência	Temperatura (°C)			Comparação entre temperaturas máximas		
	Max	Min	Amplitude	Hora de registo	ξ (°C)	Fa (h)
Superfície Exterior (média)	36,13	19,55	16,58	11:27	--	--
Centro da Célula A	28,54	20,91	7,63	19:06	7,59	7:39
Centro da Célula B	29,28	21,17	8,11	19:04	6,85	7:37
Centro da Célula C	27,09	20,22	6,87	19:20	9,04	7:53

Tabela 8: Resultados experimentais do dia 05/08/ 2011

5.3.3 Dia 9 de Agosto de 2011

Este foi um dia de Verão, com céu limpo e tempo quente. Conforme se pode constatar a partir da tabela 9 dos dados climáticos e da figura 56 da representação vectorial do vento, a temperatura oscilou entre os 13,4 °C e os 24,9 °C, o vento predominante soprou no quadrante entre o Norte e o Oeste (4ºQuadrante), soprando fraco durante a manhã e com maior intensidade durante a segunda metade do dia, altura em que soprou moderado a fresco [40]. A humidade relativa teve uma grande variação ao longo do dia e a precipitação foi nula.

DADOS CLIMÁTICOS DO DIA 09/08/2011										
Valores	Temperatura		Humidade Relativa		Precipitação		Vento			
	(°C)	Hora de registo	(%)	Hora de registo	(mm)	Hora de registo	V (m/s)	Hora de registo	direcção	
Max	25,0	14:00	94,0	6:50	0,0	--	7,2	17:20	N	
Min	14,5	6:50	50,0	12:20	0,0	--	0,0	--	--	
Média	19,5	--	74,9	--	0,0	--	2,5	--	4° Q	

Tabela 9: Universidade de Aveiro – Dados climáticos relevantes do dia 09/08/ 2011

Na figura 56 é feita a representação vectorial do vento, deste dia 9 de Agosto, com base nos dados cedidos pelo Departamento de Física da Universidade de Aveiro. Da sua observação é possível verificar que durante uma boa parte do dia o vento soprou de Norte, com maior intensidade a partir das 15 horas

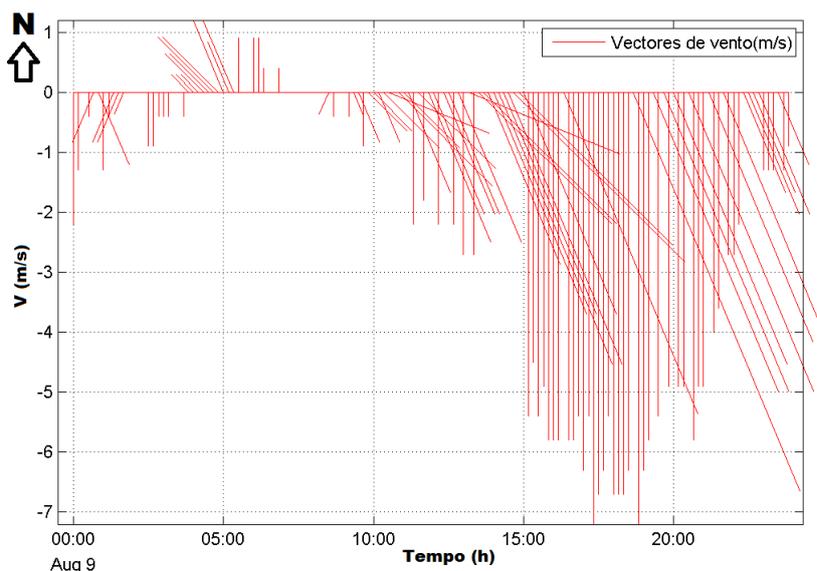


Figura 56: Representação vectorial do vento do dia 09/08/ 2011

Da observação dos gráficos respeitantes a este dia, representativos da temperatura em função do tempo (figuras 57, 58 e 59), é possível verificar o bom comportamento térmico das células de teste, principalmente da célula C onde, no período entre as 0:00 h e 8:00 h, a temperatura no seu interior foi superior à temperatura do ar exterior e no período seguinte, até às 13:00 h, foi inferior, passando depois a ser coincidente e então a partir das 14:00 a ser superior, devido essencialmente ao vento ter soprado na direcção perpendicular à furação da ventilação natural. Também nas células A e B este bom comportamento é

perceptível, ou seja, mais quente no interior quando no exterior está mais frio e mais fresco no interior quando no exterior está mais quente.

Fazendo uma pequena comparação com o dia 25 de Junho, em que o interior das células não era ventilado naturalmente, verifica-se que neste dia, 9 de Agosto, apesar da direcção do vento não ser a mais favorável a essa ventilação natural, as temperaturas no interior das células foram entre 4 °C a 5 °C inferiores, para temperaturas máximas superficiais sensivelmente iguais.

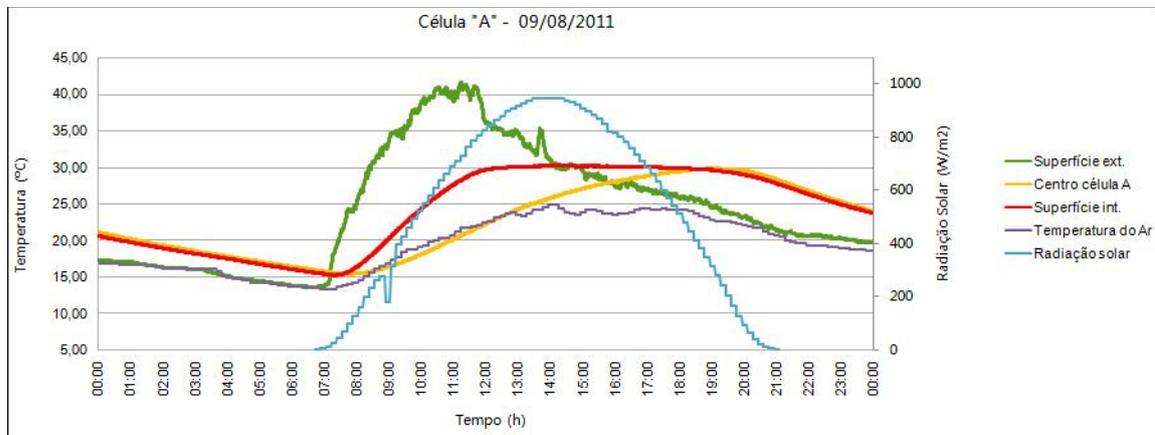


Figura 57: Temperaturas da célula “A” no dia 9 de Agosto de 2011

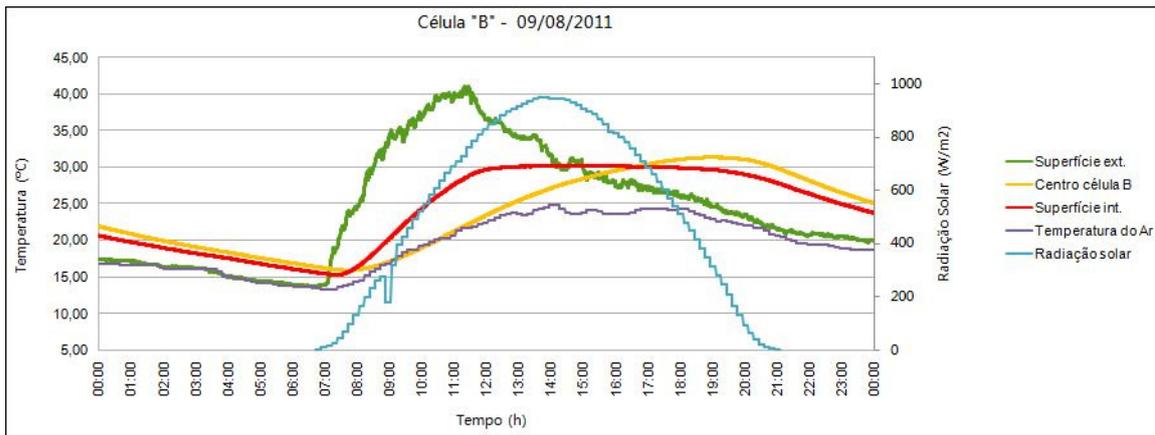


Figura 58: Temperaturas da célula “B” no dia 9 de Agosto de 2011

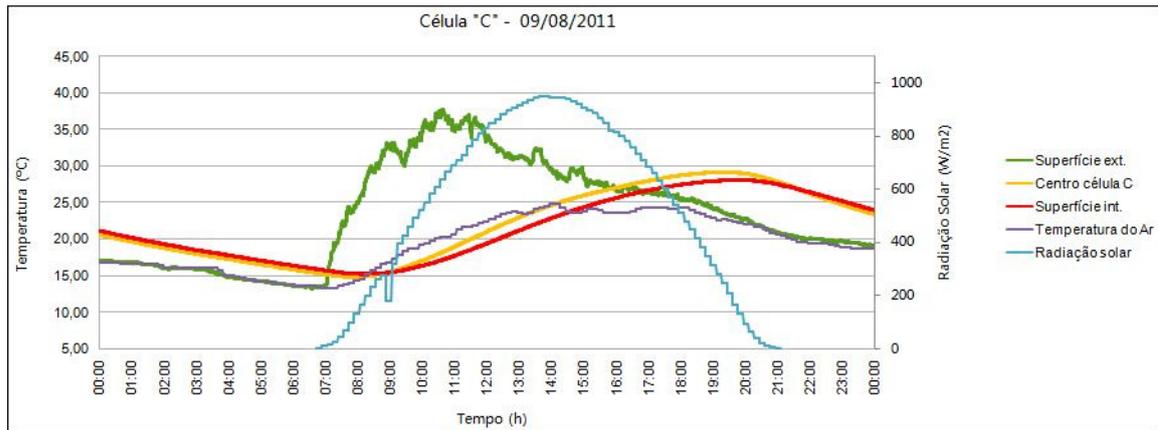


Figura 59: Temperaturas da célula “C” no dia 9 de Agosto de 2011

Da figura 60 e tabela 10, que resumem o desempenho térmico do interior das células em relação à temperatura superficial exterior média, é possível verificar que esse desempenho, no geral, voltou a corresponder ao esperado pois não só a amplitude térmica no seu interior foi inferior à amplitude térmica superficial exterior, como também se registou um bom amortecimento (ξ) entre a temperatura média máxima exterior e as temperaturas máximas interiores, e ainda um grande atraso (F_a) entre o momento dessas ocorrências, evidenciando neste caso o papel da inércia térmica da alvenaria de adobe. A Célula C (cortiça) demonstrou novamente um melhor desempenho, especialmente em relação à célula B, com uma menor amplitude térmica e um maior amortecimento (ξ) da sua temperatura máxima interior.

A célula A merece um destaque pois obteve resultados bastante interessantes, especialmente na amplitude térmica do seu interior, com um resultado muito próximo ao resultado da amplitude térmica da célula C. Este facto terá ocorrido devido ao vento ter soprado fresco [40] de Norte, sendo assim a célula A, a mais exposta à sua acção (figura 32), no entanto ficam bem demonstradas as possibilidades das construções em alvenaria de adobe, em condições de tempo quente e seco, assim como os benefícios da ventilação natural.

“Se a concepção do edifício o permitir é também possível, em certos climas, prescindir por completo dos sistemas de isolamento” [3]

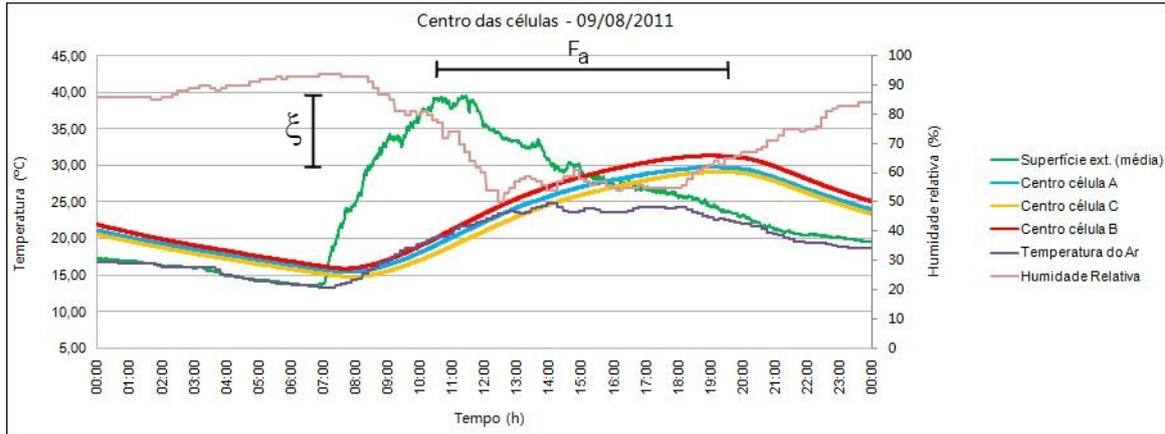


Figura 60: Temperaturas dos centros das três células no dia 9 de Agosto de 2011

Resultados experimentais – Dia 9 de Agosto de 2011						
Referência	Temperatura (°C)			Comparação entre temperaturas máximas		
	Max	Min	Amplitude	Hora de registo	ξ (°C)	Fa (h)
Superfície Exterior (média)	39,55	13,52	26,04	11:24	--	--
Centro da Célula A	29,85	15,43	14,42	19:07	9,70	7:43
Centro da Célula B	31,37	15,89	15,48	18:53	8,18	7:29
Centro da Célula C	29,20	14,79	14,41	19:13	10,35	7:49

Tabela 10: Resultados experimentais do dia 09/08/ 2011

Voltando a fazer uma pequena comparação com o dia 25 de Junho, em que o interior das células não era ventilado naturalmente, sobressaem os seus benefícios, ou seja, temperaturas interiores mais baixas, menores amplitudes térmicas, maiores amortecimentos das temperaturas máximas e menores tempos de atraso entre as suas ocorrências.

5.3.4 Dia 10 de Agosto de 2011

Este foi um dia representativo do Verão, ou seja, com céu limpo e tempo quente e seco. Conforme se pode verificar a partir da tabela 11 dos dados climáticos e da figura 61 da representação vectorial do vento, a temperatura neste dia oscilou entre os 16,8 °C e os 29,4 °C, o vento predominante soprou no quadrante entre o Norte e o Oeste (4º Quadrante), mais precisamente de NNW, soprando fraco durante a manhã e moderadamente [40] durante a

tarde. A humidade relativa teve uma grande variação ao longo do dia, com uma queda abrupta durante a noite, chegando ao valor mínimo de apenas vinte e cinco por cento e a precipitação foi nula.

DADOS CLIMÁTICOS DO DIA 10/08/2011										
Valores	Temperatura		Humidade Relativa		Precipitação		Vento			
	(°C)	Hora de registo	(%)	Hora de registo	(mm)	Hora de registo	v (m/s)	Hora de registo	direcção	
Max	29,4	13:50	89,0	4:00	0,0	--	6,3	16:40	NNW	
Min	16,8	4:10	25,0	10:00	0,0	--	0,0	--	--	
Média	23,1	--	55,9	--	0,0	--	2,0	--	4° Q	

Tabela 11: Universidade de Aveiro – Dados climáticos relevantes do dia 10/08/ 2011

Na figura 61 é feita a representação vectorial do vento referente a este dia, baseada nos dados cedidos pelo Departamento de Física da Universidade de Aveiro. Da sua observação é possível verificar que durante todo o dia o vento soprou apenas do 1º e do 2º Quadrantes e com maior intensidade a partir das quatro horas da tarde.

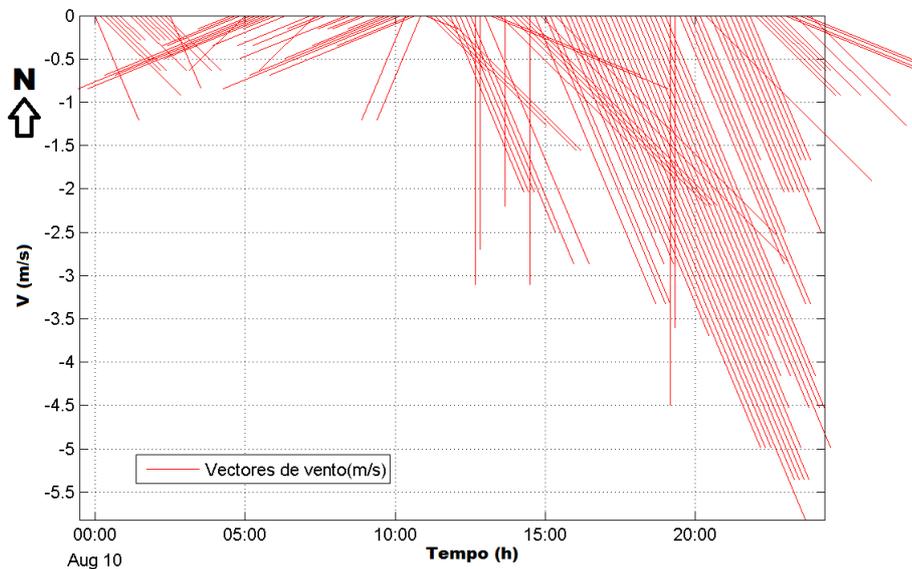


Figura 61: Representação vectorial do vento do dia 09/08/ 2011

Da observação dos gráficos respeitantes a este dia, representativos da temperatura em função do tempo (figuras 62, 63 e 64), é possível verificar o bom comportamento térmico de todas as células de teste, com as temperaturas no seu interior a contrariarem as temperaturas no exterior reforçando mais uma vez a ideia de as construções de terra terem

um melhor comportamento térmico em condições de tempo quente e seco. Como habitual a célula C foi a que teve melhor comportamento, com os declives das curvas das temperaturas interiores a serem muito mais suaves e estas a atingirem valores máximos inferiores em cerca de 4 °C a 5 °C, em relação às outras duas células, reforçando a ideia que o uso do regranulado de cortiça é uma opção perfeitamente válida para o futuro deste tipo de construções, quer seja empregue no fabrico de alvenaria ou usado em argamassas. Neste bom comportamento térmico também não será estranho o papel que o vento desempenhou, pois neste dia soprou numa direcção mais favorável para a ventilação natural do interior das células.

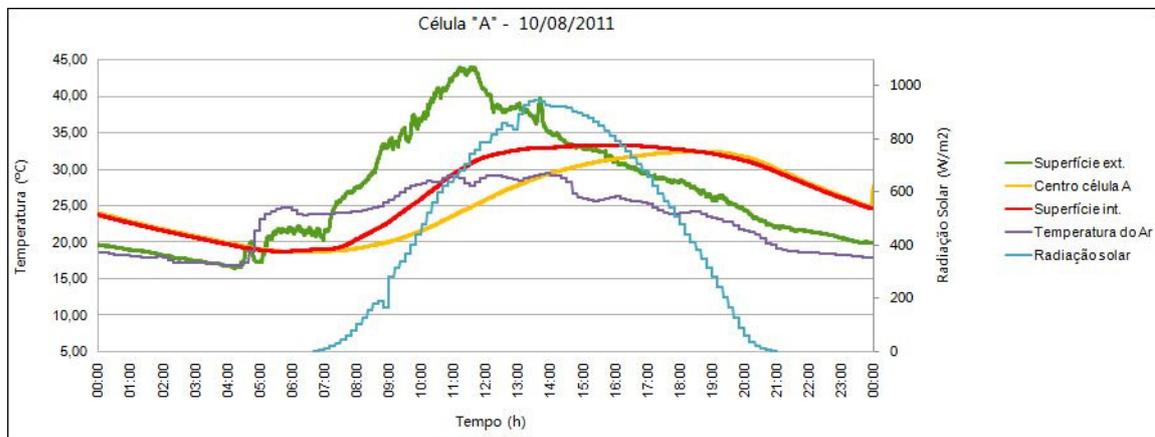


Figura 62: Temperaturas da célula "A" no dia 10 de Agosto de 2011

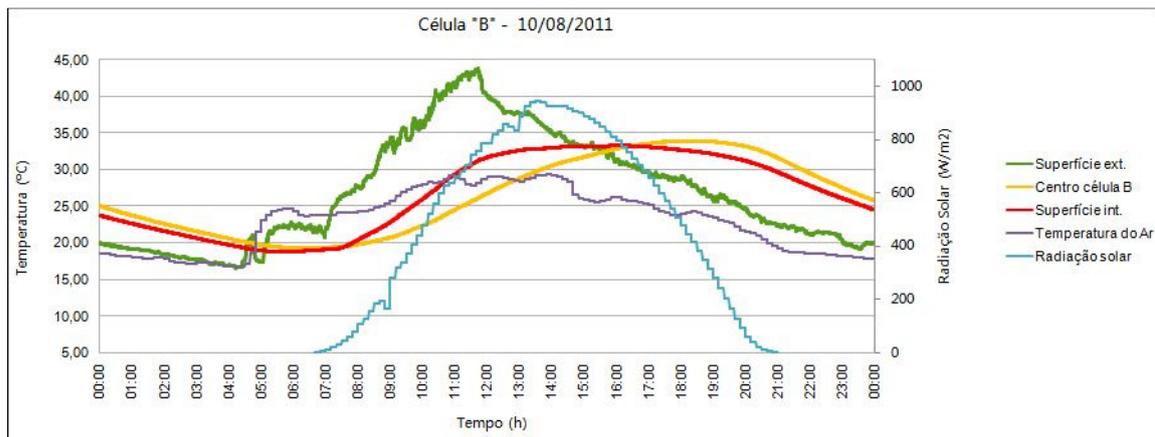


Figura 63: Temperaturas da célula "B" no dia 10 de Agosto de 2011

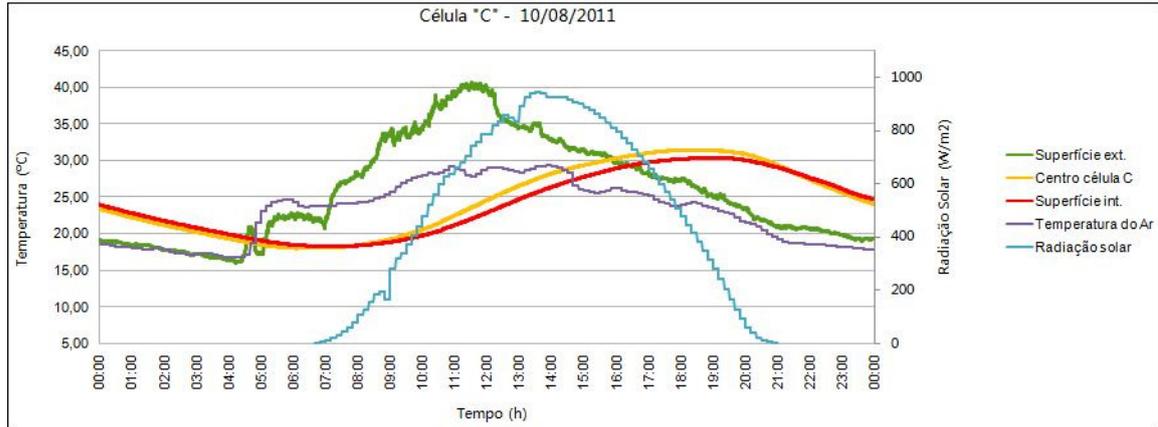


Figura 64: Temperaturas da célula “C” no dia 10 de Agosto de 2011

Da figura 65 e tabela 12, que resumem o desempenho térmico do interior das células em relação à temperatura superficial exterior média, mais uma vez verificou-se o bom desempenho de todas as células, pois as amplitudes térmicas dos interiores foram inferiores às respectivas amplitudes térmicas superficiais exteriores, registaram-se bons amortecimentos (ξ), entre a temperatura média máxima exterior e as temperaturas máximas interiores, e ainda um bom atraso (F_a) entre o momento dessas ocorrências, evidenciando neste caso o papel da inércia térmica da alvenaria de adobe. A Célula C (cortiça) demonstrou novamente o melhor desempenho, seguido de perto pela célula A, que a partir do momento em que os interiores das células começaram a ser ventilados passou a ter um comportamento mais próximo da célula C do que da B devido à acção do vento.

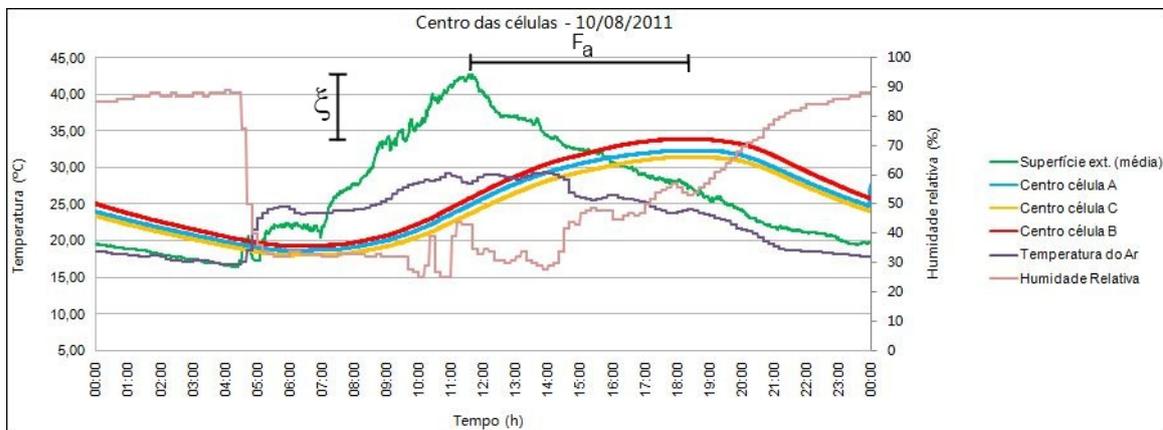


Figura 65: Temperaturas dos centros das três células no dia 10 de Agosto de 2011

Resultados experimentais – Dia 10 de Agosto de 2011						
Referência	Temperatura (°C)			Comparação entre temperaturas máximas		
	Max	Min	Amplitude	Hora de registo	ξ (°C)	Fa (h)
Superfície Exterior (média)	42,67	16,39	26,28	11:38	--	--
Centro da Célula A	32,38	18,65	13,73	18:04	10,29	6:26
Centro da Célula B	33,93	19,31	14,62	18:16	8,74	6:38
Centro da Célula C	31,48	18,02	13,46	18:46	11,19	7:08

Tabela 12: Resultados experimentais do dia 10/08/ 2011

5.4 Síntese de Resultados

5.4.1 Comportamento térmico das células de teste

Após a análise dos resultados produzidos pela campanha experimental, dos quais apresentam-se mais alguns no Anexo A, é possível concluir que o desempenho térmico global das três células foi bom pois apesar de todos os picos de radiação e temperatura no seu exterior e das variações, por vezes bruscas e repentinas, na humidade relativa do ar, as curvas das temperaturas nos seus interiores foram sempre suaves e de menor amplitude, com amortecimento (ξ) dos valores das temperaturas máximas e com grandes factores de atraso (Fa) entre os máximos das temperaturas exteriores e interiores, ficando assim demonstradas as propriedades térmicas deste tipo de construções, nomeadamente da sua muito boa inércia térmica, especialmente sob condições de tempo quente e seco.

No conjunto dos resultados destaca-se a prestação da Célula C, consistentemente com o melhor comportamento térmico das três células de teste, com valores inferiores de amplitudes térmicas e de temperaturas máximas no seu interior, quaisquer que fossem as condições climáticas a que estavam sujeitas e durante as fases de com e sem ventilação natural dos seus interiores. Este melhor desempenho térmico dever-se-á sem dúvida, à incorporação do regranulado de cortiça no fabrico dos adobes da sua alvenaria e da argamassa com que foi rebocada [32], compensando a perda inércia térmica, devido à

perda de massa, com o ganho em isolamento térmico, sendo pertinente considerar esta como uma opção perfeitamente válida no futuro das construções em alvenaria de terra, quer seja em construções novas, quer seja em obras de reabilitação, tanto para o fabrico de alvenaria como para as argamassas de reboco ou de enchimento/regularização de pavimentos e/ou coberturas em terraço.

5.4.2 Efeito da Ventilação Natural

O bom comportamento térmico das construções não será suficiente para a obtenção do conforto termo-higrométrico necessário para os seus utilizadores poderem desenvolver as suas actividades de forma sã, surgindo assim a ventilação natural (ou mecânica) dos edifícios como uma exigência por necessidades de qualidade do ar interior e de conforto higrotérmico [27].

Como se viu durante a campanha experimental a ventilação natural desempenhou um papel fundamental na regulação da temperatura interior pois reduziu os riscos de sobreaquecimento no interior das células, ao reduzir as amplitudes térmicas e as temperaturas máximas interiores.

O efeito da ventilação natural nas células de teste está patente nas figuras 66, 67 e 68, onde são representadas as curvas das temperaturas, em função do tempo, no interior das três células de teste, para determinada temperatura média na superfície exterior.

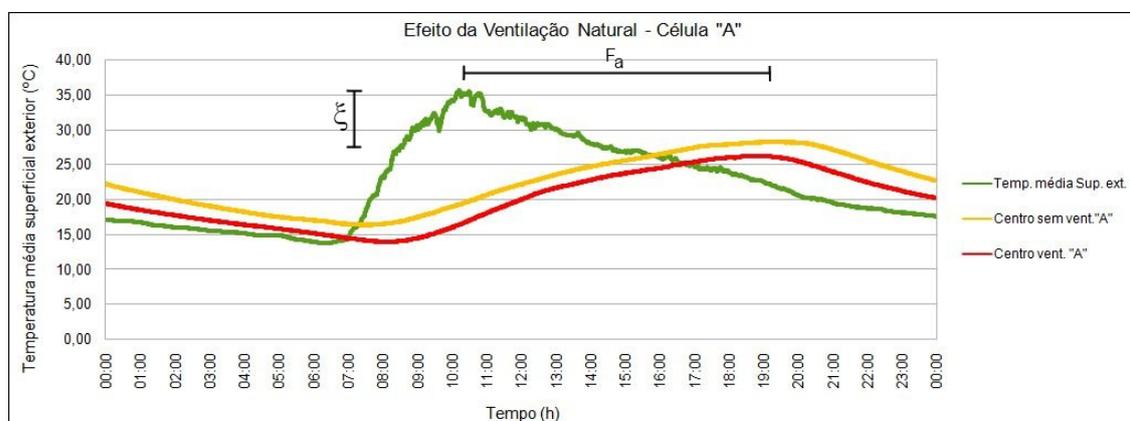


Figura 66: Efeito da ventilação natural – Célula A

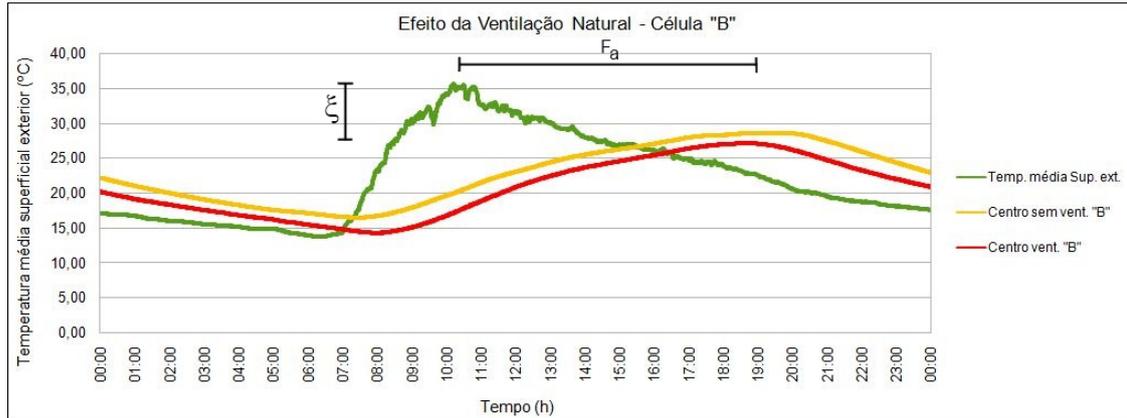


Figura 67: Efeito da ventilação natural – Célula B

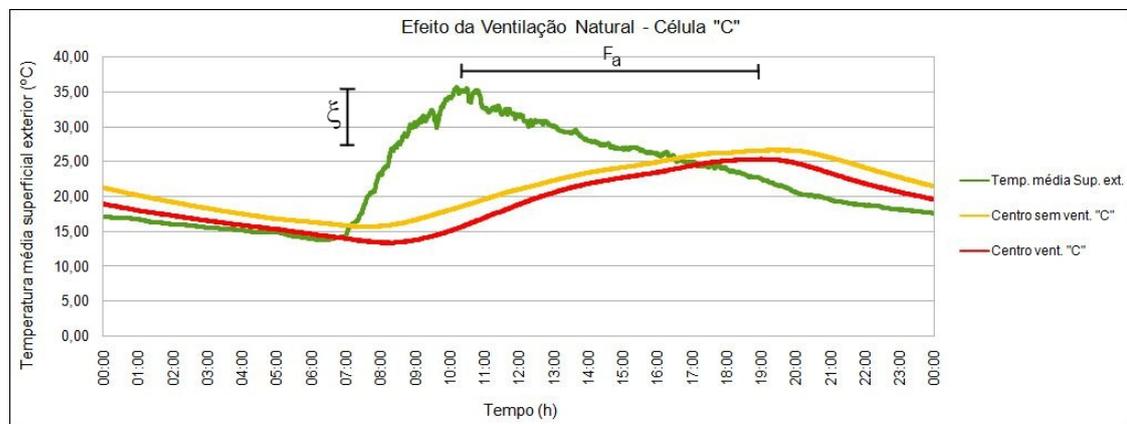


Figura 68: Efeito da ventilação natural – Célula C

Torna-se visível que a ventilação natural das células de teste teve como benefício imediato, impedir a subida excessiva da temperatura interior, com uma redução na ordem dos 4 °C a 5 °C, prevenindo assim situações de sobreaquecimento, e produziu maiores amortecimentos (ξ) entre as temperaturas médias máximas exteriores e as temperaturas máximas interiores, para além de ter proporcionado menores amplitudes térmicas. Do lado dos inconvenientes temos a redução dos atrasos entre as ocorrências das temperaturas máximas exteriores e interiores, daí a ventilação natural (ou mecânica) ser um processo que deve ser estudado previamente à sua implementação, pois pode prejudicar seriamente o desempenho térmico das construções.

CAPÍTULO 6
Estratégias de reabilitação térmica

6. ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA

6.1 Reabilitação versus Construção

6.2 Tipos de Intervenções de Reabilitação

6.3 Reabilitação Térmica

6.3.1 Escolha de materiais

6.3.2 Configurações do isolamento térmico em paredes

6.3.2.1 Isolamento térmico pelo interior

6.3.2.2 Isolamento térmico pelo exterior

6.3.3 Soluções alternativas

6.3.3.1 Argamassas com desempenho térmico melhorado

6.3.3.2 Parede “Trombe”

6. ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA

6.1 Reabilitação versus Construção

Até há bem pouco tempo, em Portugal o sector da construção civil e obras públicas dedicava-se quase exclusivamente à nova construção, desprezando quase por completo, salvo raras excepções (turismo de habitação, património, etc.), a reabilitação de edifícios, enquanto na União Europeia, essa actividade de reabilitação, manutenção e reparação de edifícios representava (e representa) sensivelmente metade da actividade do sector. Com o advento da crise económica mundial, que atingiu particularmente o mercado financeiro e consequentemente o mercado imobiliário, sendo Portugal, como é do conhecimento geral, um dos países europeus mais afectados, a reabilitação do edificado existente surge como uma alternativa viável para a sobrevivência do sector, apresentando inúmeras vantagens, por oposição à construção nova, nomeadamente económicas e ambientais, como por exemplo as seguintes:

- Económicas – ausência total ou parcial de demolições (ausência de resíduos para transportar); menor consumo de materiais (tenta-se aproveitar ao máximo os materiais existentes); estaleiros mais circunscritos (menores custos de instalação e manutenção), etc.
- Ambientais – menor consumo de recursos naturais (menor consumo de materiais provenientes da extracção, mineração, abate, etc.); menor emissão de gases de efeito de estufa resultantes da transformação, fabrico e transporte de materiais (devido ao menor consumo de materiais); manutenção da área impermeabilizada (muitas vezes causadora de cheias e enxurradas); menor consumo de energia (um dos objectivos que qualquer obra de reabilitação deverá promover), etc.

Para além destas vantagens salienta-se ainda “... a importância que tem vindo a ser atribuída à conservação do património construído, que muito dele, ajuda a entender e a representar as formas como ao longo do tempo o homem se organizou, viveu e trabalhou, nomeadamente os edifícios históricos, pois são monumentos que constituem autênticos documentos, que devem ser conservados e valorizados, para usufruto das gerações vindouras e também para a sua formação histórica e cultural” [4].

6.2 Tipos de Intervenções de Reabilitação

As intervenções de reabilitação dos edifícios podem ser divididas, consoante o fim pretendido, em três grandes tipos distintos entre si, mas que idealmente poderão ser todos agrupados numa única empreitada, pois a reabilitação, para além das vantagens para o meio ambiente, mencionadas acima, surge como uma alternativa viável para o sector da construção civil nesta altura de crise. No entanto, convém não esquecer que nem sempre estas intervenções serão obrigadas a ser acompanhadas de um projecto, bastando um simples licenciamento (comunicação de obras) camarário, pelo que neste caso específico, os projectistas poderão não usufruir desta “viragem” do sector para a reabilitação. Os três níveis, ou tipos principais, em que se pode intervir, consoante o fim pretendido são:

- Envolvente exterior (coberturas, pavimentos sobre o exterior, fachadas) – se o motivo da intervenção prende-se apenas com preocupações de estética e/ou com o comportamento térmico do edifício. Neste último caso convém não esquecer que essa intervenção poderá ter de ser estendida à envolvente interior, nos elementos de separação com os espaços não úteis (paredes, pavimentos, tectos).
“Espaço não útil - o conjunto dos locais fechados, fortemente ventilados ou não, que não se encontram englobados na definição de área útil de pavimento e que não se destinam à ocupação humana em termos permanentes e, ...” [23]
- Conforto interior e habitabilidade – se a intervenção visa apenas a melhoria das condições de habitabilidade dos utilizadores do edifício. Neste caso será uma intervenção mais complexa, que poderá mesmo levar à alteração das instalações (redes de água, gás, etc.) e dos sistemas (aquecimento/arrefecimento) do edifício;
- Comportamento estrutural – o tipo de intervenção mais profunda, normalmente só adoptada quando existe o perigo de desmoronamento (ruína) e estão em causa as condições de segurança de pessoas e bens, ou quando se pretende adaptar o edifício às condições de segurança à acção dos sismos.

6.3 Reabilitação Térmica

Um dos erros mais comuns no meio da construção civil portuguesa, não só ao nível dos intervenientes menos qualificados escolarmente, que muitas vezes ocupam cargos de chefia (empreiteiros, donos da obra, etc.) é o de pensar-se que as obras de reabilitação de edifícios são economicamente mais dispendiosas do que as obras de construção de raiz, mesmo quando essa construção envolve a demolição prévia do existente, quando na realidade não o são, podendo até, conforme o estado do edifício e o reaproveitamento que se consiga fazer dos materiais que o constituem, ser muito mais económica. O problema residirá fundamentalmente na falta de técnicos, por não lhes ter sido leccionada a devida formação nesta área, e de mão-de-obra especializada, pois nos últimos anos privilegiou-se claramente a nova construção votando ao abandono, pelas mais variadas razões, a começar pelos valores monetários muito baixos da grande parte dos arrendamentos, desmotivadores do interesse dos proprietários, todo o parque edificado, mesmo o historicamente e culturalmente relevante.

O objectivo da reabilitação é aumentar o ciclo de vida do edifício e simultaneamente dotá-lo de maior adaptabilidade às funções a que está destinado. A reabilitação não só requalifica e reutiliza um espaço, como também possibilita um menor consumo de materiais e energia, relativamente à construção de raiz. Para além disso “... *reabilitar é preservar as marcas históricas e culturais de um espaço, resultando daí a sua valorização social e económica.*” [2]

“Poderá entender-se como reabilitação térmica de um edifício, a actuação na envolvente construtiva desse edifício de modo a melhorar o nível de conforto térmico interior, tornando-o mais eficiente energeticamente e diminuindo ou eliminando as patologias resultantes dessa deficiência.” [43]

Em acções de reabilitação, a escolha do tipo de isolamento térmico a adoptar, não é tão livre como é para uma nova construção, pois dever-se-á ter em atenção as restrições que sejam impostas por terceiras entidades, como por exemplo os municípios, o IGESPAR – Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico, etc., ou seja, por

exemplo a escolha pelo tipo de isolamento térmico pelo exterior, que seria a ideal sob o ponto de vista da inércia, poderá não ser autorizada por razões de ordem estética.

6.3.1 Escolha de materiais

Ao nível das intervenções nas envolturas de edifícios de alvenaria de adobe, com vista à reabilitação das fachadas ou empenas podem ser adoptadas estratégias de intervenção que em simultâneo promovam a melhoria do comportamento térmico desses edifícios e que promovam a sustentabilidade da construção, com a adopção de materiais isolantes térmicos que sejam naturais.

Na escolha de um material deve-se ter em atenção todo o seu ciclo de vida e não apenas uma fase da sua vida útil, pois esta pode induzir uma avaliação errada e conseqüentemente a uma tomada de decisão que poderá ser inócua ou, em último caso, poderá mesmo ser prejudicial.

Sob o ponto de vista da sustentabilidade a avaliação de determinado material deverá ser feita desde a sua fonte de matéria-prima, passando pela produção, distribuição, utilização e fim de vida útil. Em todas estas etapas são importantes os seguintes aspectos ambientais: resíduos, contaminação de solos, contaminação da água, contaminação do ar, consumo de energia, ruído e meio ambiente. Se queremos que o nosso edifício, construído de novo ou reabilitado, seja sustentável, não basta prever uma série de equipamentos que durante a sua utilização poupem energia, será necessário reflectir também sobre o modo como vai ser construído, nos materiais que vamos usar, como estes são fabricados, etc.

“Muitos são os aspectos a ter em conta ao projectar edifícios a favor do ambiente, podemos pensar no edifício como um todo ou podemos descrevê-lo como um sistema, formado por componentes ou diversos materiais.” [4]

Os materiais de construção, após terem passado pelos requisitos técnicos e legais, devem também atender a alguns requisitos quanto a aspectos ecológicos e de salubridade. Enumerando os critérios ecológicos, os materiais devem ser [44]:

- Renováveis e abundantes, provindos de diversas fontes naturais e cuja produção cause pouco impacto ao ambiente;
- Não poluentes, de modo a não emitirem vapores, partículas ou toxinas nocivas ao ambiente, tanto no uso como na fabricação;
- Energeticamente eficientes, utilizando pouca energia no seu processo de fabrico, transporte e utilização (devem provir de regiões próximas);
- Adicionalmente devem ser bons isolantes de forma a prevenir perdas/ganhos energéticos (calor) indesejados;
- Duráveis, com longa vida útil, fáceis de repor e de fácil manutenção, testados por diversas gerações;
- Produzidos a preços e condições de trabalho justos;
- Pouco geradores de resíduos, capazes de serem reciclados, de modo a economizar a grande quantidade de energia necessária para produzir os materiais a partir da matéria-prima.

6.3.2 Configurações do isolamento térmico em paredes

As três configurações do isolamento térmico que se podem adoptar, no projecto das novas construções, para as paredes, da envolvente exterior e interior, são o isolamento térmico pelo exterior, isolamento térmico pelo interior ou isolamento repartido (isolante térmico na caixa-de-ar das paredes duplas) [23]. Como esta última não será uma opção válida para intervenções de reabilitação, pois implicaria uma perda de área útil se fossem levantadas paredes do lado interior das paredes existentes, sobram neste caso as configurações do isolamento térmico pelo exterior ou pelo interior.

6.3.2.1 Isolamento térmico pelo interior

Em reabilitação a configuração de isolamento térmico pelo interior é uma solução corrente, especialmente em meio urbano, pois normalmente não será permitido adoptar uma solução pelo exterior, quer seja por razões arquitectónicas, de interesse patrimonial, de limite de propriedade ou simplesmente ser fisicamente impossível essa intervenção, como no caso das paredes laterais de edifícios em banda ou geminados, sendo estas as suas principais

vantagens. Mas outras poderão ser apontadas, como por exemplo no caso de obras de reabilitação, a solução de isolamento térmico pelo exterior coloca dificuldades ao nível dos remates com os vãos de portas e janelas das fachadas e a colocação do isolamento pelo interior poderá ser uma solução mais eficiente em edifícios que não tenham uma ocupação permanente [45]. Ou seja, as principais vantagens da escolha desta solução prendem-se com razões de ordem legal ou técnica e não com razões de térmica, pois como principais desvantagens na adopção do isolamento térmico pelo interior, temos a diminuição da área útil, o isolamento térmico fica repartido aumentando a contribuição das perdas por pontes térmicas lineares, e a diminuição da inércia térmica.

6.3.2.2 Isolamento térmico pelo exterior

Como se viu no ponto anterior a solução de isolamento térmico pelo interior tem mais vantagens de ordem técnica ou legal do que propriamente de ordem térmica, sendo que essas vantagens são precisamente as principais desvantagens ou razões para a não adopção de uma solução de isolamento térmico pelo exterior.

Como principais vantagens na adopção de uma solução de isolamento térmico pelo exterior, temos a melhoria da inércia térmica, evita as pontes térmicas (menos importante em construções de adobe) ao obter-se uma camada contínua pelo exterior e mantém a parede do lado isolado da construção, estando conseqüentemente menos sujeita as variações de temperatura [45].

6.3.3 Soluções alternativas

Como alternativa às soluções de isolamento térmico em placas existem técnicas construtivas que poderão, quando correctamente executadas, produzir os mesmos efeitos. Apresentam-se de seguida duas soluções alternativas para a melhoria do comportamento térmico de edifícios, sem recorrer ao uso mais comum do isolamento térmico em placas ou mantas.

Estas não serão as únicas possíveis mas que adaptar-se-ão mais ao ambiente urbano onde por exemplo uma solução recorrendo à palha dificilmente seria aceite.

6.3.3.1 Argamassas com desempenho térmico melhorado

O uso do regranulado de cortiça negra é uma solução perfeitamente viável na execução de argamassas de reboco com desempenho térmico melhorado, ideal para os casos de reabilitação onde muitas vezes torna-se muito complicado a aplicação de placas de isolamento térmico, quer devido a razões estéticas, quer devido à sua espessura diminuir a área útil dos compartimentos. Outra solução passa pelo uso dos PCM - Phase Change Materials, que são materiais com uma grande capacidade de armazenamento térmico, na composição dessas argamassas de acabamento das paredes e dos tectos dos edifícios (figura 69).

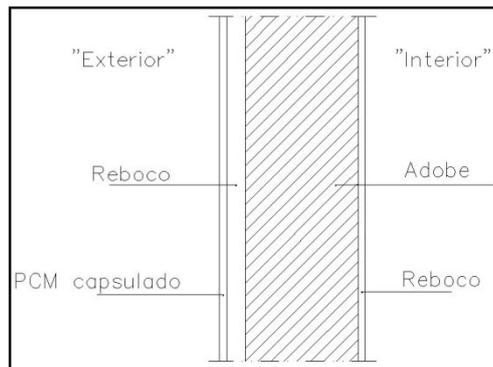


Figura 69: Parede rebocada com PCM microencapsulado [38]

As microcápsulas são obtidas por microencapsulamento, que é uma técnica utilizada para envolver o PCM, para que este não desapareça ao mudar de fase [46].

O uso dos PCM nos materiais de construção não se limita apenas às argamassas de reboco, pois também podem ser incorporados em argamassas de enchimento dos pavimentos, comuns para a obtenção da cota do piso e envolver as tubagens e os elementos acessórios das instalações prediais, ou nos próprios blocos de betão térmicos, telhas e painéis, em sistemas solares de armazenamento de energia, ou mesmo em placas de gesso cartonado.

Os PCM são baterias térmicas que promovem a economia de energia e que podem ser combinadas com os materiais de construção, sendo fundamental a concepção racional dos edifícios para que se optimize o seu funcionamento [46].

6.3.3.2 Parede “Trombe”

A parede “Trombe” é uma das técnicas construtivas, solares passivas, tendo sido desenvolvida em França em meados da década de sessenta do século passado, por Félix Trombe [47,48], e tem a função de captar e acumular a energia da radiação solar. É constituída por um vidro duplo exterior, uma caixa-de-ar com 2 cm e uma parede de grande inércia térmica, como por exemplo uma parede de alvenaria adobe, mas que também pode ser em betão, pedra, ou tijolo maciço. Para aumentar a capacidade de captação da radiação solar, a parede pode ser pintada numa cor escura, pois as cores escuras são mais absorventes e todo o conjunto deve ser orientado a Sul (caso estejamos no hemisfério Norte) pois apenas nesta posição é possível captar a maior intensidade da radiação solar (período entre o final da manhã e o início da tarde). Esta orientação favorece a baixa altitude solar durante o Inverno, sem prejudicar o conforto com ganhos indirectos excessivos durante o Verão (figura 70).

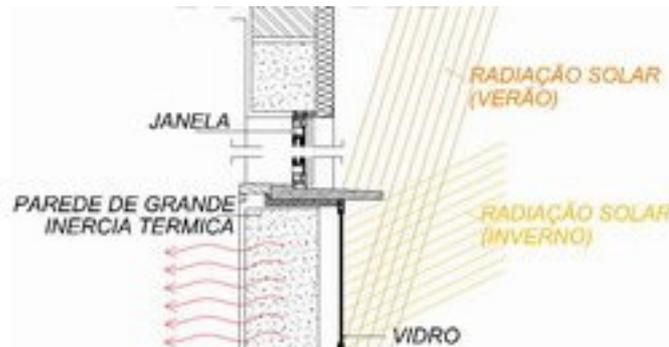


Figura 70: Exemplo prático de uma parede de Trombe [40]

A necessidade da grande inércia térmica da parede prende-se com o facto de ao receber a radiação solar, o calor que esta gera, seja acumulado durante as horas do dia em que existe essa incidência e só após o fim do dia é que o calor seja transmitido para o interior do edifício, aquecendo-o por convecção e transmissão, ou seja, que haja um retardo (factor de atraso) e uma amortização na oscilação das temperaturas gerados pela inércia térmica. De modo a ser optimizado o funcionamento da parede de Trombe, convém dimensionar a espessura da parede para que o factor de atraso seja o mais coincidente possível com o fim da radiação solar.

Como se percebe pelo seu funcionamento, as paredes de Trombe que não recorrem à ventilação natural, estão vocacionadas para a estação de Inverno, pois no Verão não há interesse nenhum em que seja libertado calor para o interior, durante a noite, antes pelo contrário, pelo que serão necessárias protecções solares pelo exterior, de modo a nessa estação poderem ser facilmente desactivadas. Uma vez que no Inverno o sol incide muito horizontalmente e no Verão muito verticalmente, pelas horizontais de protecção sobre os envidraçados, correctamente dimensionadas, resolvem este inconveniente pois impedem a radiação solar de atingir o vidro, ficando as paredes inactivas. Pode também ser colocados estores, pelo exterior do vidro, que permaneçam abertos no Inverno e fechados no Verão.

No caso de se pretender que o calor contido no espaço entre o vidro e a parede (estufa) seja usado rapidamente no aquecimento do interior da construção, podem ser usadas grelhas de ventilação natural, de modo a que esse interior seja aquecido por uma corrente de convecção natural, que trará o ar exterior aquecido previamente no espaço “estufa”. No entanto, desta forma, a maior parte da energia incidente é transferida e utilizada de imediato, sendo mais reduzida a energia acumulada na parede [48].

Como vantagem principal a “Parede Trombe” pode satisfazer até 15% das necessidades de aquecimento no período de Inverno quando correctamente dimensionada e orientada a Sul [49]. Como principal desvantagem, temos o facto de ao não ser isolada termicamente, transforma-se numa zona de perdas quando existem períodos prolongados de nebulosidade.

Esta técnica solar passiva de ganhos directos, para a qual as paredes de alvenaria de adobe são perfeitamente adequadas, pode ser usada tanto em reabilitação de edifícios, se existirem fachadas orientadas a Sul (e se tal for esteticamente permitido) como em construção nova, onde em sede de projecto pode ficar prevista uma parede de adobe orientada a Sul, mesmo que o restante edifício utilize outro tipo de alvenaria.

CAPÍTULO 7
Conclusões e perspectivas futuras

7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

7.1 Breve Descrição do Trabalho Realizado

7.2 Principais Conclusões

7.3 Perspectivas Futuras

7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

7.1 Breve Descrição do Trabalho Realizado

Este trabalho foi dedicado ao tema do comportamento térmico das construções em alvenaria de adobe, tendo como objectivo principal contribuir para a valorização deste tipo de construções, caído em desuso a partir da segunda metade do Século XX, mas que com as preocupações ambientais cada vez mais na ordem do dia, pelas suas características reconhecidamente amigas do ambiente, estão na linha da frente como alternativa benéfica ao tipo de construção actual.

Para o efeito foi desenvolvida uma campanha experimental, com recurso a três células de teste em alvenaria de adobe, que decorreu em duas fases distintas. Na primeira fase as células estavam perfeitamente isoladas de modo que as trocas térmicas se dessem o mais possível pelas paredes e na segunda fase foram abertos orifícios para a ventilação natural dos seus interiores.

7.2 Principais Conclusões

Faz-se em seguida uma breve descrição de todo o trabalho salientando-se os aspectos considerados relevantes e as principais conclusões alcançadas.

O Capítulo 1 foi dedicado apenas ao enquadramento do tema, estabelecimento de objectivos e descrição deste trabalho.

No Capítulo 2 fez-se uma breve introdução histórica das construções de terra crua no mundo e em Portugal concluindo-se que estas, apesar de todas as suas virtudes, a partir da segunda metade do século XX, foram sendo menosprezadas em favor do tipo de construção considerada mais avançada, baseada em betão armado e alvenaria de tijolo cerâmico, mas que recentemente, com as questões ambientais na ordem do dia, começaram a existir sinais de mudança, pois **nenhum outro tipo de construção se insere tão perfeitamente no conceito de sustentabilidade, como as construções em terra crua.**

No Capítulo 3 foi feita a introdução do comportamento térmico dos edifícios, com a legislação em vigor e os seus conceitos mais relevantes no âmbito deste trabalho.

O Capítulo 4 foi dedicado à explicação da campanha experimental.

Dos resultados apresentados e analisados no Capítulo 5, referentes à campanha experimental realizada, é possível concluir que o desempenho observado, em cada uma das três células de teste, demonstra bem todas as possibilidades térmicas da terra crua, salientando-se os seguintes:

- **A alvenaria de adobe possui muito boa inércia térmica**, pois motivou factores de atraso grandes (Fa) e amortecimentos consideráveis entre as temperaturas máximas exteriores e interiores, assim como menores amplitudes térmicas;
- O comportamento observado na Célula C, sem e com ventilação natural do seu interior, demonstra que o uso do **regranulado de cortiça**, incorporado no fabrico de alvenaria ou em argamassas de reboco de terra, é mais **uma opção válida para uso na reabilitação térmica ou em novas construções, de terra crua**;
- Com a **ventilação natural** do interior das células:
 - As **temperaturas máximas no interior das células não atingem valores tão elevados** como no exterior, sendo estes resultados influenciados pelo vento;
 - As **amplitudes térmicas são menores**;
 - **É menor o risco de sobreaquecimento**.

No capítulo 6 foi abordado o tema da reabilitação térmica salientando-se as suas virtudes em relação à construção nova, os seus diferentes tipos e propondo-se duas soluções de **reforço térmico para paredes de alvenaria de adobe** diferentes das tradicionais, que foram **as argamassas com desempenho térmico melhorado e a parede “Trombe”**.

7.3 Perspectivas Futuras

“A sustentabilidade vai implicar mudar mentalidades ...” [50]. Esta frase resume bem as dificuldades com que nos vamos deparar no futuro mais próximo, na necessária demanda pela sustentabilidade, económica e ambiental, pois foram muitos anos de menosprezo pelo legado existente e de esbanjamento de dinheiro fácil. Perante este desafio da sustentabilidade não existe outro material que potencie tão baixo impacte ambiental como o adobe [3].

Em Portugal para este tipo de construções, em terra crua, há um vazio legislativo que urge preencher sob pena de mais uma vez andarmos a reboque do que se faz lá fora, ou pior, ficarmos para trás, quando temos todas as condições, humanas, climáticas, históricas e outras mais, para estarmos na linha da frente do que melhor se faz, e consequentemente, pelas características inerentes a estas construções, sermos líderes na sustentabilidade da construção, quer seja em construção nova quer seja em reabilitação.

As conclusões desta dissertação poderão constituir um ponto de partida para estudos mais aprofundados do desempenho térmico das construções em alvenaria de adobe, pois o presente estudo procurou focar estes aspectos, com vista não só à reabilitação do edificado existente, mas também na edificação de novas construções, sempre no contexto da sustentabilidade da construção.

Sendo a temática do comportamento térmico tão vasta, pois até aqui a primazia tem sido dada à envolvente (paredes), uma vez que no sentido de minorar as limitações sentidas por Meneses [32] retomou-se neste ponto, avançando-se depois com a introdução da ventilação natural, e sendo este um estudo faseado no tempo, fará todo o sentido num futuro trabalho com as células de teste abordar outros campos, como por exemplo o da iluminação natural, com a abertura de vãos envidraçados. Mas mesmo para as envolventes mais estudos poderão ser feitos, como simplesmente estudar outras soluções de reforço térmico em materiais naturais, para além da cortiça, compatíveis com as paredes em terra.

Referências bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I, Grupo de Trabalho; “Mudança do Clima 2007: a base das ciências físicas – sumário para os formuladores de políticas”; IPCC; 2007;
- [2] HENRIQUES, Francisco; “Reabilitação térmica de edifícios”; Alambi; 2007;
- [3] MATEUS, Ricardo; “Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção – Parte II”; Escola de Engenharia; Departamento de Engenharia Civil; [Em linha]; <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>;
- [4] DELGADO, A.; “Estratégias de reabilitação sustentável de edifícios de estações de caminhos de ferro”; Instituto Superior Técnico; Lisboa; 2008;
- [5] ROCHETA, Vera, FARINHA, Fátima; “Práticas de projecto e construtivas para a construção sustentável”; Área Departamental de Engenharia Civil; Universidade do Algarve; 2007;
- [6] “Habitação na pré-história” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://desenharounao.blogspot.com/2007/07/habita-na-pr-histria.html](http://desenharounao.blogspot.com/2007/07/habita-na-pr-histria.html); Acesso em Novembro 2011;
- [7] “Arte tempo - Gruta de Altamira, Espanha” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://artetempo.blogspot.com/2009/11/gruta-de-altamira-espanha.html](http://artetempo.blogspot.com/2009/11/gruta-de-altamira-espanha.html); Acesso em Outubro 2010;
- [8] CORREIA, Mariana; “Universalidade e diversidade da arquitectura de terra”; 10ª Mesa redonda de primavera; Terra: forma de construir”; Escola Superior Gallaecia; Vila Nova de Cerveira;
- [9] “A grande muralha da china” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/muralhas-da-china/](http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/muralhas-da-china/); Acesso em Outubro 2011;

- [10] SANTOS, Ana Maria Pereira; “Resistência das alvenarias à compressão”; Departamento de Engenharia Civil/Universidade do Minho; Guimarães; Julho 1998;
- [11] “Lostpastremembered” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://lostpastremembered.blogspot.com/2010/07/bibery-swans-and-cotswold-dumplings.html](http://lostpastremembered.blogspot.com/2010/07/bibery-swans-and-cotswold-dumplings.html); Acesso em Dezembro 2011;
- [12] CORREIA, Maria, MERTEN, Jacob; “A Taipa alentejana: Sistemas tradicionais de protecção”; ESG/Escola Superior Gallaecia, CICRA/Centro de Investigação de Construção Rural e Ambiente; Vila Nova de Cerveira, Portugal.
- [13] “Arquitectura de terra em Portugal”, ARGUMENTUM, 1º Edição, ISBN: 972-8479-36-0 Setembro de 2005;
- [14] CARVALHO, J., PINTO, J., VARUM, H., JESUS, A., LOUSADA, J., MORAIS, J.; “Construções em tabique na região de Trás-os-Montes e alto douro”; CINPAR 2008 - 4 th International Conference on Structural Defects and Repair. Civil Engineering Department - University of Aveiro. Portugal. 25-28 June 2008. Editors: Humberto Varum, Francisco Carvalho, Anibal Costa, Alexandre Bertini, Petr Stepánek. ISBN: 978-989-95695-3-9 (2008);
- [15] “Técnicas construtivas tradicionais que usam a terra como material” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://tabiquesdoaltotamega.blogs.sapo.pt/](http://tabiquesdoaltotamega.blogs.sapo.pt/); Acesso em Novembro 2010;
- [16] “Adobe_Idanha-a-Nova” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://arquitecturasdeterra.blogspot.com/2008_09_01_archive.html](http://arquitecturasdeterra.blogspot.com/2008_09_01_archive.html); Acesso em Novembro 2010;
- [17] LABRINCHA, João; “Subprojecto de Isolamento Térmico – 1º Relatório de Progresso”; AVEIRODOMUS – Associação para o Desenvolvimento da Casa do Futuro; Universidade de Aveiro; 2006;

- [18] JALALI, Saíd; “Apontamentos de Novos Materiais de Construção”; Mestrado de Materiais e Reabilitação da Construção; 2003-2004.
- [19] “Casa de adobe, Astúrias, Espanha” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://www.jpe-asturias.org/](http://www.jpe-asturias.org/); Acesso em Outubro 2010;
- [20] RODRIGUES, Paulina Faria; “Construção em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias”; Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Nova de Lisboa; Lisboa;
- [21] “Construções com terra crua” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://sitiogralhaazul.net/dev15/index.php?option=com_myblog&show=Constru.html&Itemid=77](http://sitiogralhaazul.net/dev15/index.php?option=com_myblog&show=Constru.html&Itemid=77); Acesso em Novembro 2010;
- [22] “Cal-Earth, The California Institute of Earth Art and Architecture - superadobe” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://calearth.org/](http://calearth.org/); Acesso em Novembro 2010;
- [23] /P/ - Leis, decretos, etc.; “Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios”; Decreto-Lei Nº 80/2006, de 4 de Abril; Diário da Republica Nº 67, I SÉRIE A, páginas 2468 a 2513;
- [24] /P/ - Leis, decretos, etc.; Decreto-Lei Nº 78/2006, de 4 de Abril; Diário da Republica Nº 67, I SÉRIE A, páginas 2411 a 2415;
- [25] “Desempenho energético dos edifícios (reformulação) ”; Directiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010; Jornal Oficial da União Europeia; 18 de Junho de 2010;
- [26] /P/ - Leis, decretos, etc.; “Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios”; Decreto-Lei Nº 79/2006, de 4 de Abril; Diário da Republica Nº 67, I SÉRIE A, páginas 2416 a 2468;

- [27] RODRIGUES, António M., PIEDADE, António C., BRAGA, Ana M.; “Térmica de Edifícios”; 1ª edição; Edições ORION; 2009;
- [28] ANES, António A. Almeida; “A influência da massa e da exposição solar no comportamento térmico dos edifícios”; Professor adjunto do ISEL;
- [29] NUNES, T.; “Construção Sustentável”; 3ª edição; 2010;
- [30] GONÇALVES, Mariana M.; “Estudo de novos materiais de mudança de fase”; Universidade de Aveiro – Departamento de Química; 2009;
- [31] “Casa sustentável” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://eficienciaenergtica.blogspot.com/2010/08/energain-1.html](http://eficienciaenergtica.blogspot.com/2010/08/energain-1.html); Acesso em Outubro 2011;
- [32] MENESES, Tiago André da Fonseca; “Estudo do comportamento térmico de construções em alvenaria de adobe”; Departamento de Engenharia Civil; Universidade de Aveiro; 2010;
- [33] “O vento e as pressões atmosféricas”; [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://www.gforum.tv](http://www.gforum.tv); Acesso em Novembro 2011;
- [34] “Conceitos importantes” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://www.esac.pt](http://www.esac.pt); Acesso em Outubro 2011;
- [35] “Infopédia” [Em linha]; Porto: Porto Editora, 2003-2011; Disponível na [www: <URL: http://www.infopedia.pt/\\$radiacao-solar>](http://www.infopedia.pt/$radiacao-solar); Acesso em Novembro 2011;
- [36] FARINHA, J. S. Brazão, REIS, A. Correia dos; “Tabelas técnicas”; Edições Técnicas E. T. L., Lda.; Lisboa; 2000;

- [37] SANTOS, Carlos A. Pina dos, MATIAS, Luís; “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios”; versão actualizada 2006; LNEC; Lisboa; 2009;
- [38] IM; “Verão afectado por fase negativa da oscilação do atlântico norte - Relatório verão 2011; 2011-09-19; [Em linha]; <http://www.meteo.pt/pt/media/noticias/newsdetail.html?f=/pt/media/noticias/textos/rel_clima_verao2011.html>
- [39] “Windfinder, Unidades & Conversão” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://www.windfinder.com/wind/windspeed.htm>](http://www.windfinder.com/wind/windspeed.htm); Acesso em Novembro 2011;
- [40] “The nerc mst radar facility at aberystwyth” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://mst.nerc.ac.uk/wind_vect_conv.html>](http://mst.nerc.ac.uk/wind_vect_conv.html); Acesso em Outubro 2011;
- [41] MASSEY, B. S.; “Mecânica dos fluidos”; Fundação Calouste Gulbenkian; Lisboa; 2002;
- [42] /P/ - Leis, decretos, etc.; “Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes”; Decreto-Lei Nº 235/83, de 31 de Maio; Colecção Regulamentos; Porto Editora;
- [43] ABREU, Maria Isabel Lopes Marcelino Dias de; “Reabilitação térmica de um edifício”; Excerto Adaptado; 2011;
- [44] TORGAL, F. Pacheco, JALALI, Said; “A sustentabilidade dos materiais de construção”; 2010;
- [45] “DOW – Soluções para a construção”; Constulink – Portal da construção; [Em linha]; Disponível na <URL: http://www.construlink.com/LogosCatalogos/Dow_Portugal_Paredes.pdf?random=754700062>; Acesso em Outubro 2011;

- [46] MONTEIRO, José M., AGUIAR, José B., BRAGANÇA, Luís M., GOMES, Jaime R., SANTOS, Pedro; “Argamassas com desempenho térmico melhorado”; APFAC – 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção; Departamento de Engenharia Civil - Universidade do Minho;
- [47] “Arquitectura – materiais e sistemas de construção - paredes de trombe” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://www.arquitectura.pt/forum/f123/parede-de-trombe-10936/](http://www.arquitectura.pt/forum/f123/parede-de-trombe-10936/); Acesso em Julho 2011;
- [48] MENDES, Nuno Rafael Mota; “Paredes de trombe na arquitectura contemporânea”; Trabalho teórico para obtenção do grau de mestre; ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa;
- [49] “Paredes trombe” [Em linha]; Disponível na [www:<URL: http://construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-%7C%7C-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Paredes-Trombe](http://construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-%7C%7C-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Paredes-Trombe); Acesso em Julho 2011;
- [50] “CONSTRUIR - O jornal de negócios da indústria da construção”; Ano VII; Número 191; 24 de Fevereiro de 2011
- [51] “Phase change materials: a new form of solar energy?”; Homebuilding & Renovating; [Em linha]; Disponível na [URL: http://www.homebuilding.co.uk/feature/phase-change-materials](http://www.homebuilding.co.uk/feature/phase-change-materials); Acesso em Novembro 2010;

ANEXO A

Resultados não usados nesta dissertação

A.1 Dia 27 de Junho de 2011

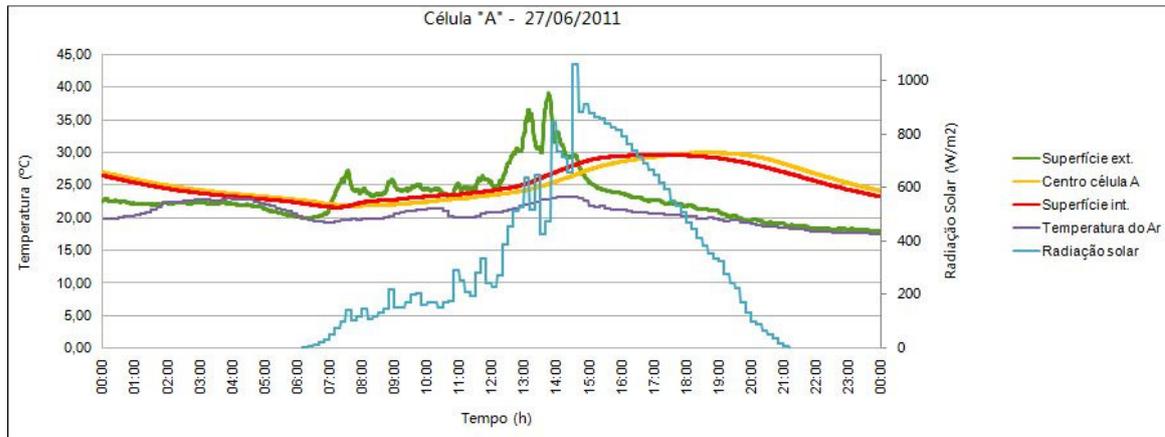


Figura 71: Temperaturas da célula "A" no dia 27 de Junho de 2011

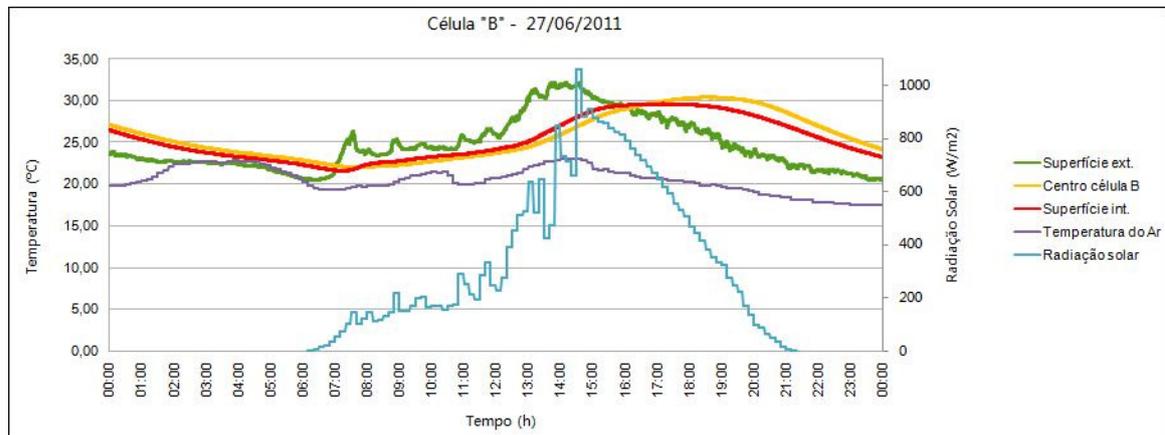


Figura 72: Temperaturas da célula "B" no dia 27 de Junho de 2011

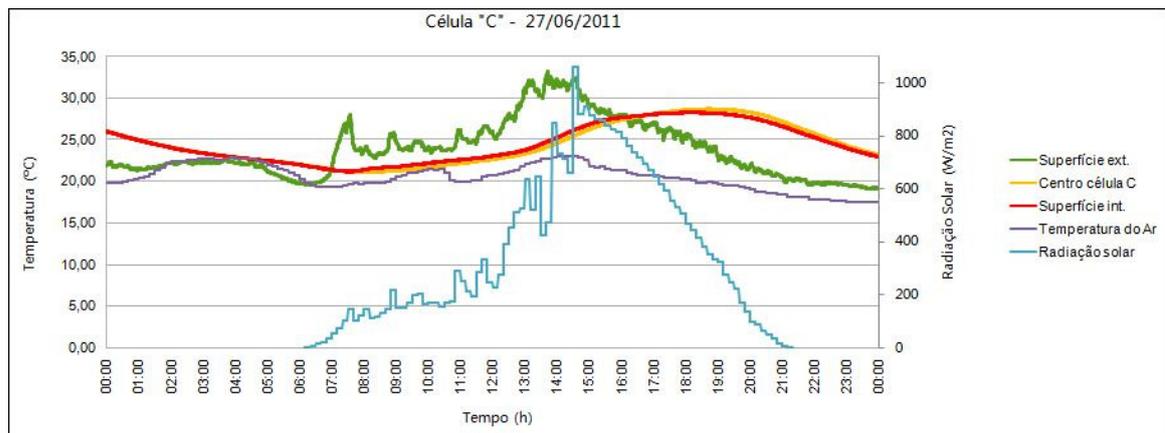


Figura 73: Temperaturas da célula "C" no dia 27 de Junho de 2011

A.2 Dia 6 de Agosto de 2011

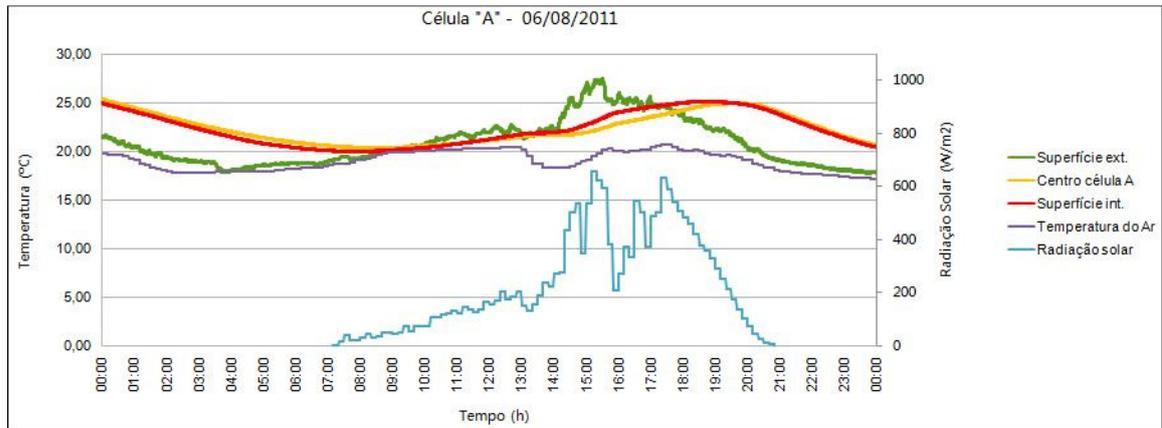


Figura 74: Temperaturas da célula "A" no dia 6 de Agosto de 2011

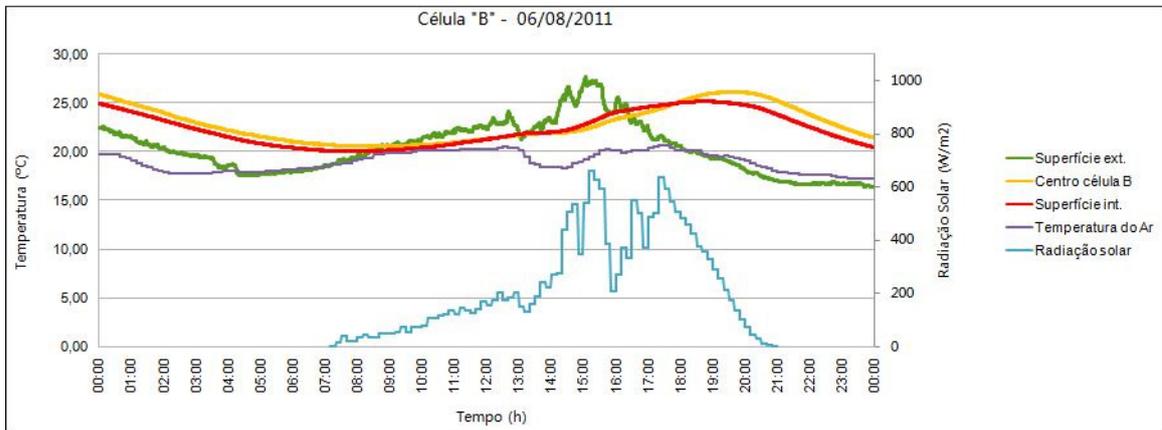


Figura 75: Temperaturas da célula "B" no dia 6 de Agosto de 2011

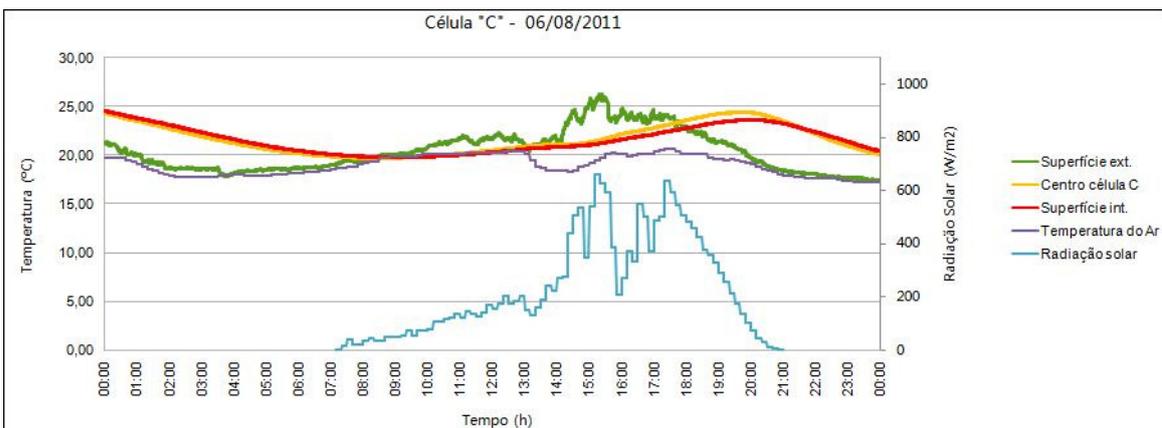


Figura 76: Temperaturas da célula "C" no dia 6 de Agosto de 2011

A.3 Dia 15 de Agosto de 2011

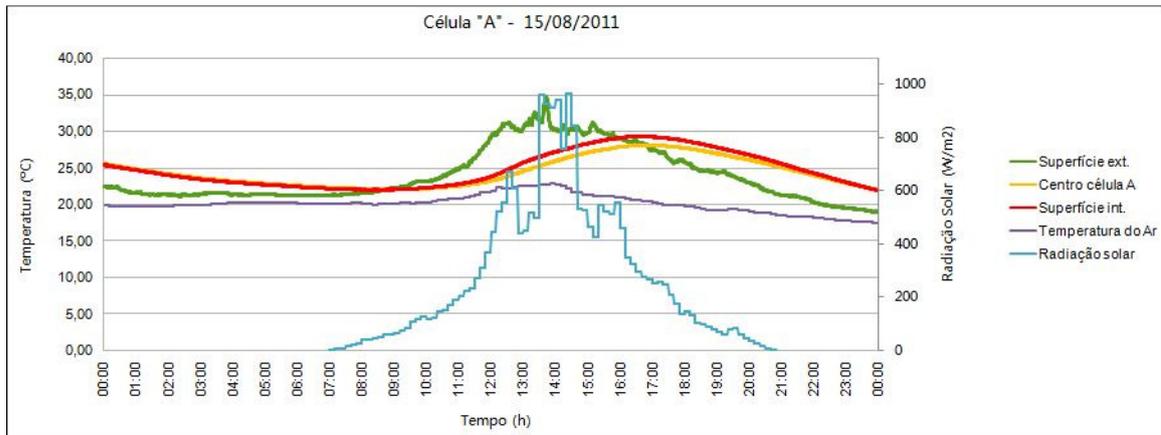


Figura 77: Temperaturas da célula “A” no dia 15 de Agosto de 2011

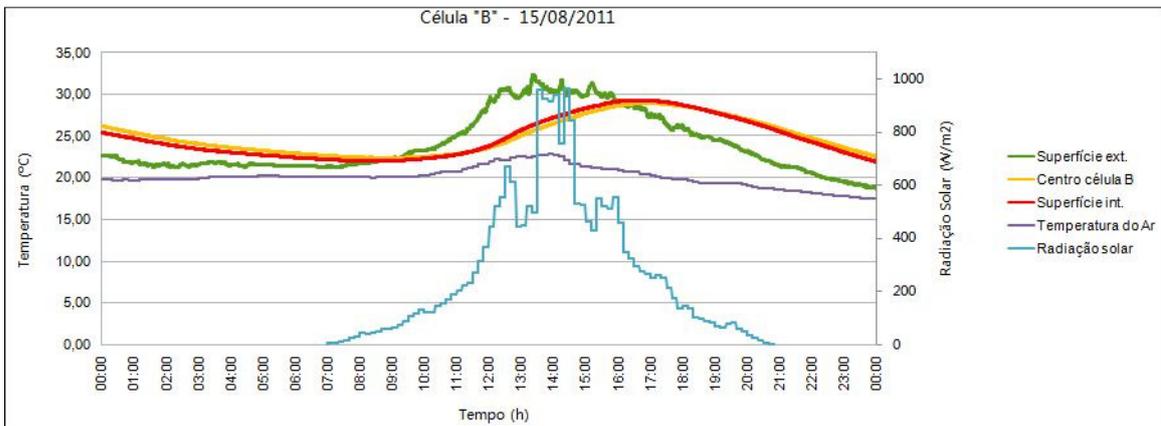


Figura 78: Temperaturas da célula “B” no dia 15 de Agosto de 2011

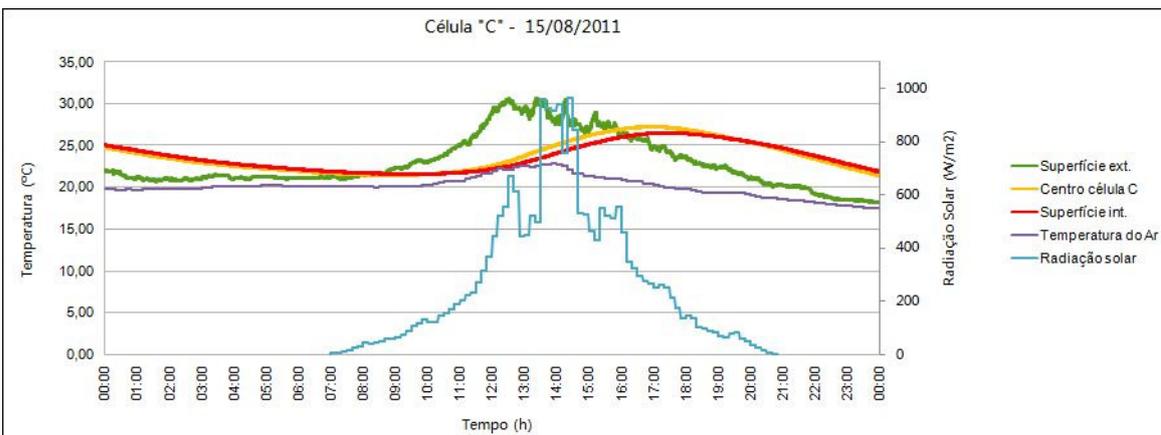


Figura 79: Temperaturas da célula “C” no dia 15 de Agosto de 2011

A.4 Dia 20 de Outubro de 2011

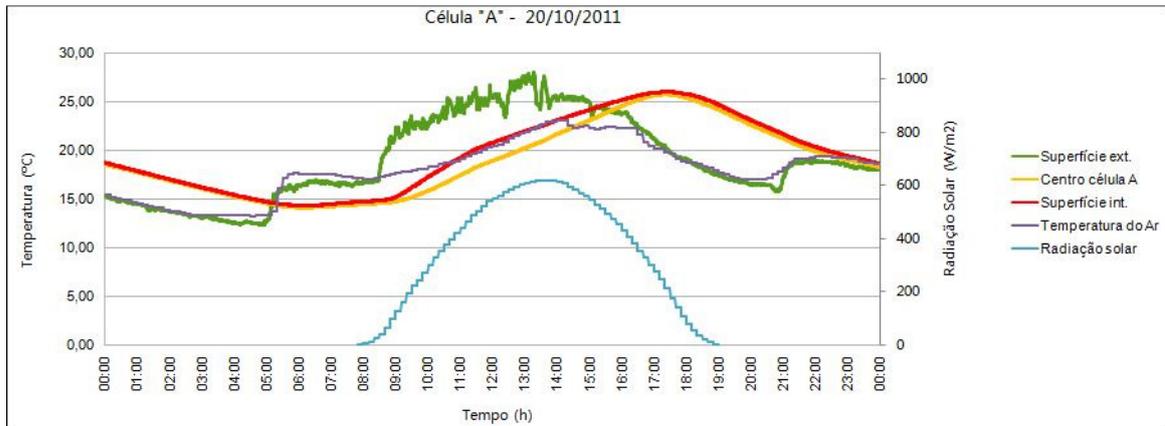


Figura 80: Temperaturas da célula "A" no dia 20 de Outubro de 2011

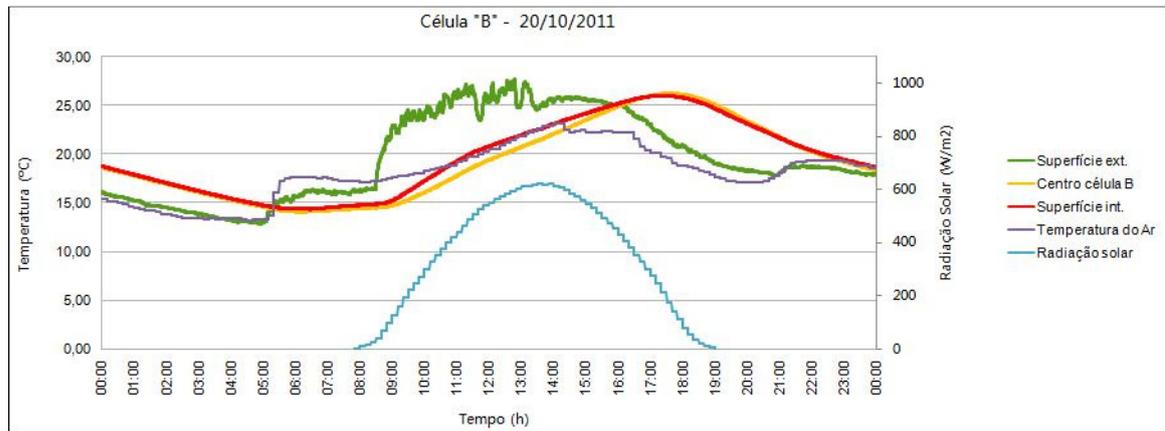


Figura 81: Temperaturas da célula "B" no dia 20 de Outubro de 2011

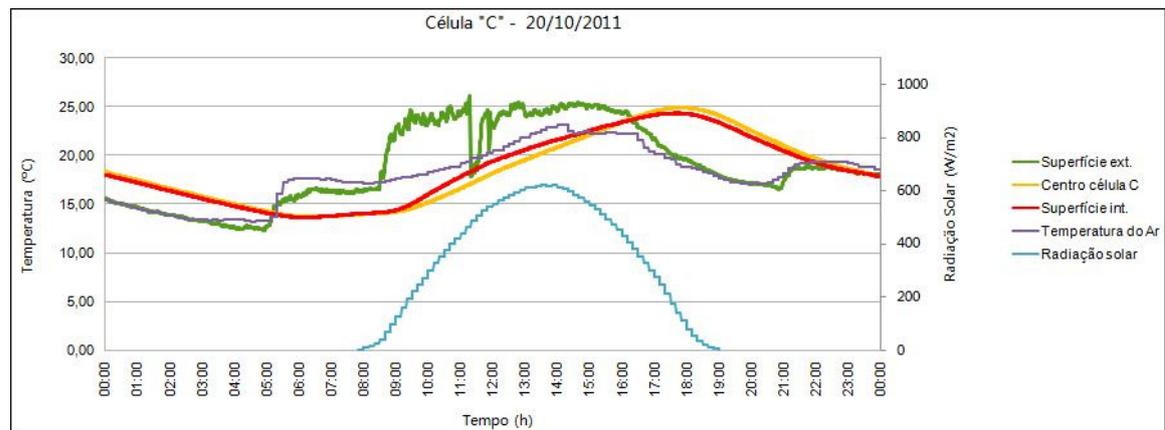


Figura 82: Temperaturas da célula "C" no dia 20 de Outubro de 2011

A.5 Dia 25 de Outubro de 2011

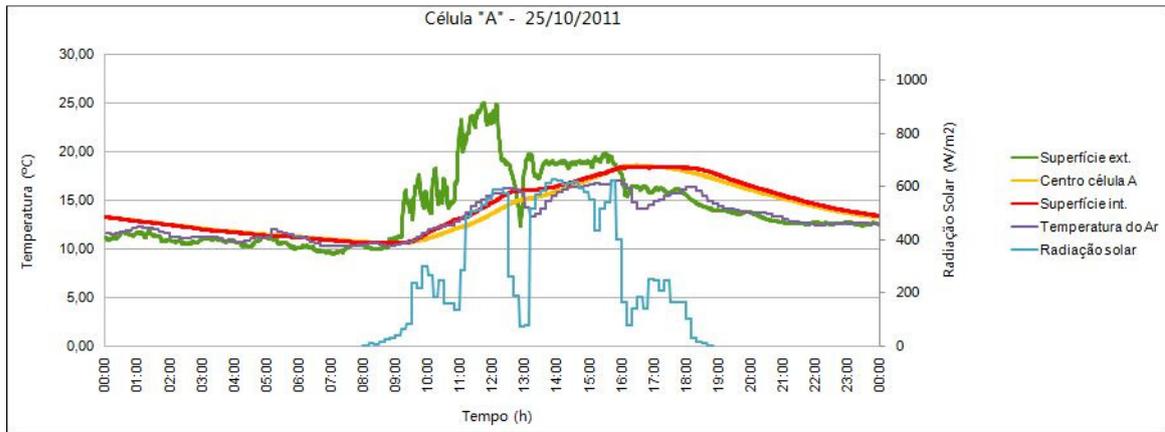


Figura 83: Temperaturas da célula “A” no dia 25 de Outubro de 2011

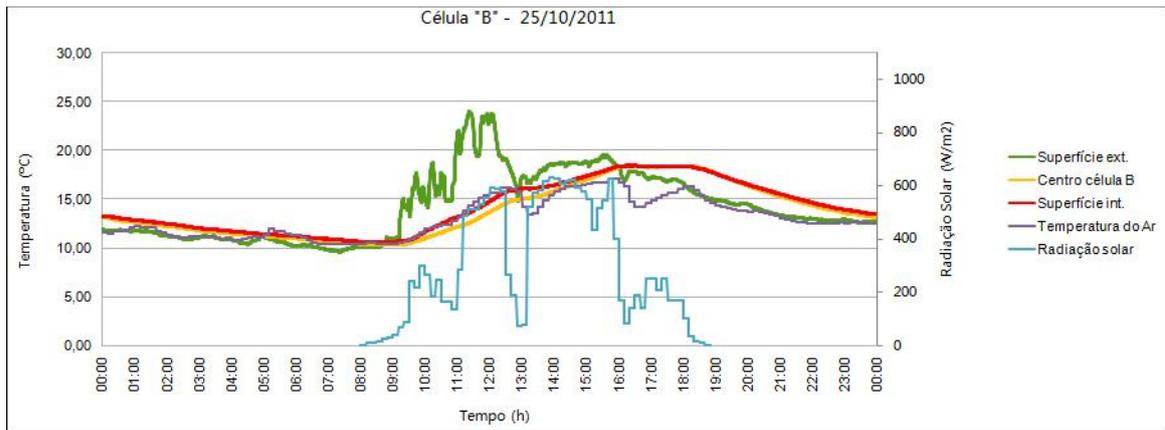


Figura 84: Temperaturas da célula “B” no dia 25 de Outubro de 2011

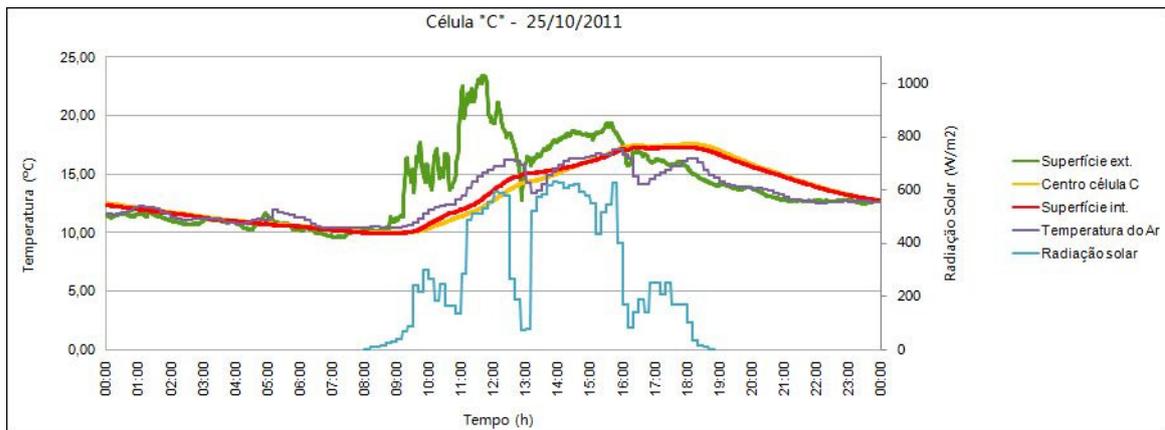


Figura 85: Temperaturas da célula “C” no dia 25 de Outubro de 2011

A.6 Dia 27 de Outubro de 2011

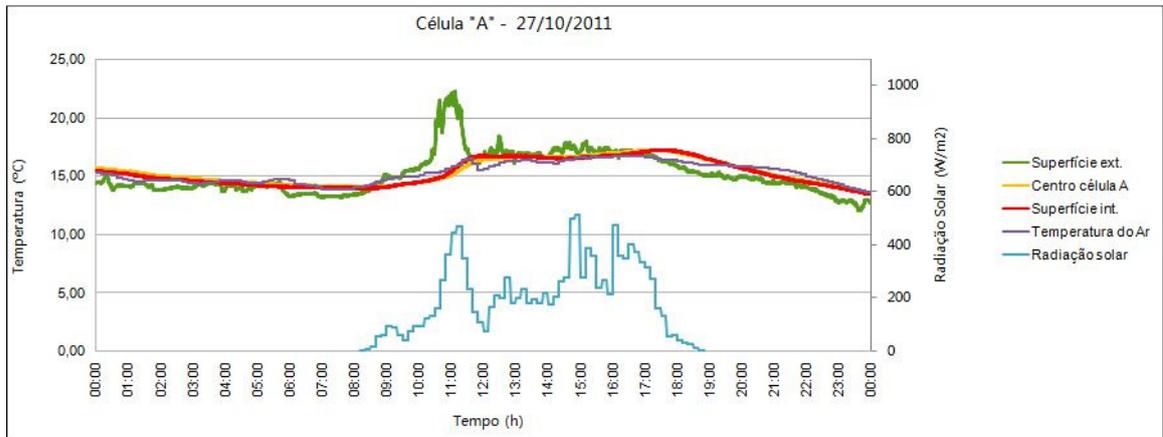


Figura 86: Temperaturas da célula “A” no dia 27 de Outubro de 2011

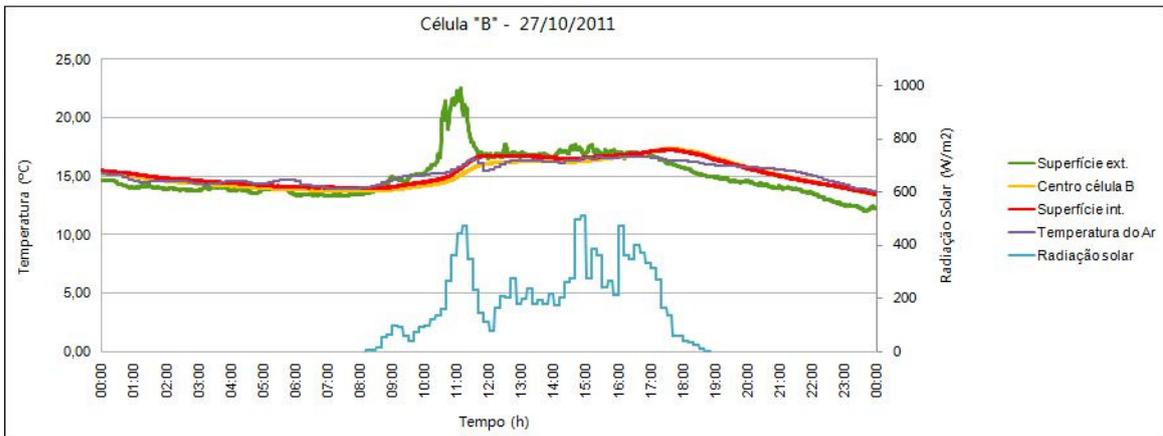


Figura 87: Temperaturas da célula “B” no dia 27 de Outubro de 2011

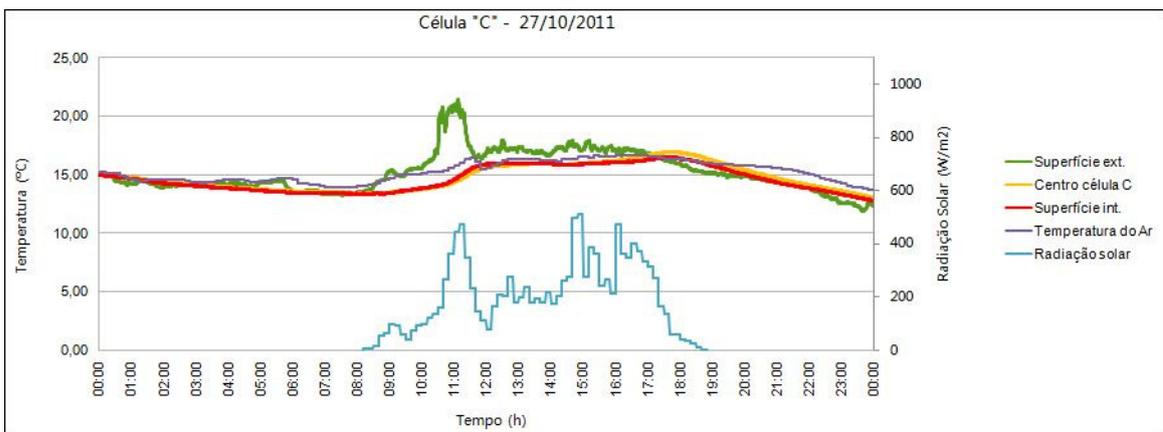


Figura 88: Temperaturas da célula “C” no dia 27 de Outubro de 2011

A.7 Dia 29 de Outubro de 2011

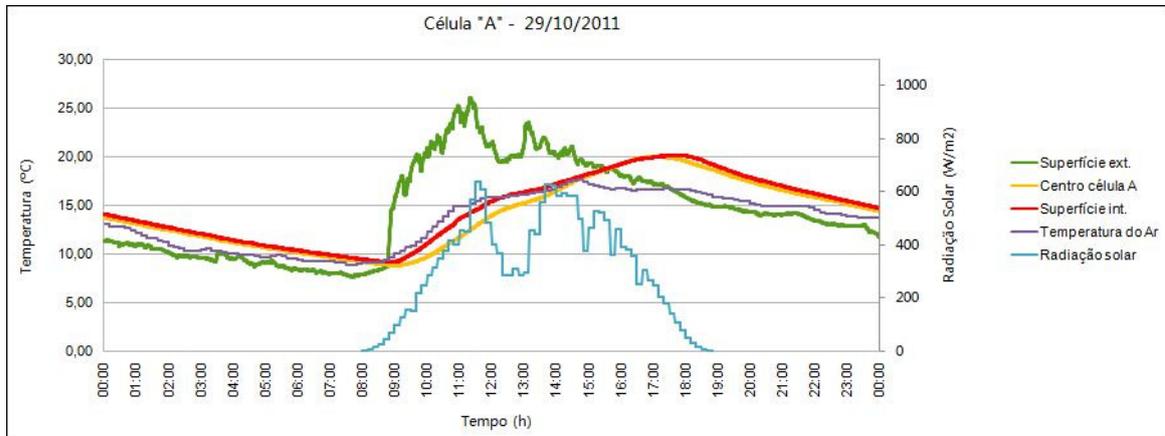


Figura 89: Temperaturas da célula "A" no dia 29 de Outubro de 2011

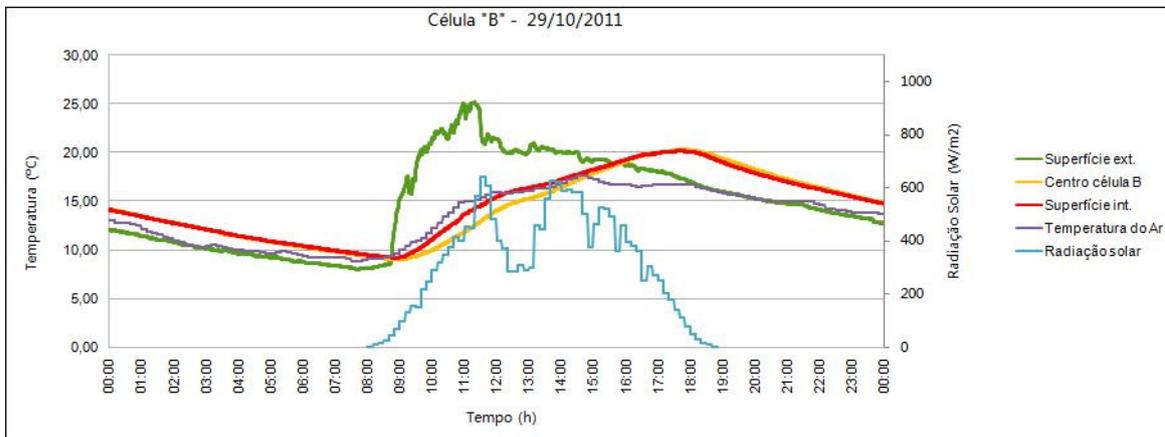


Figura 90: Temperaturas da célula "B" no dia 29 de Outubro de 2011

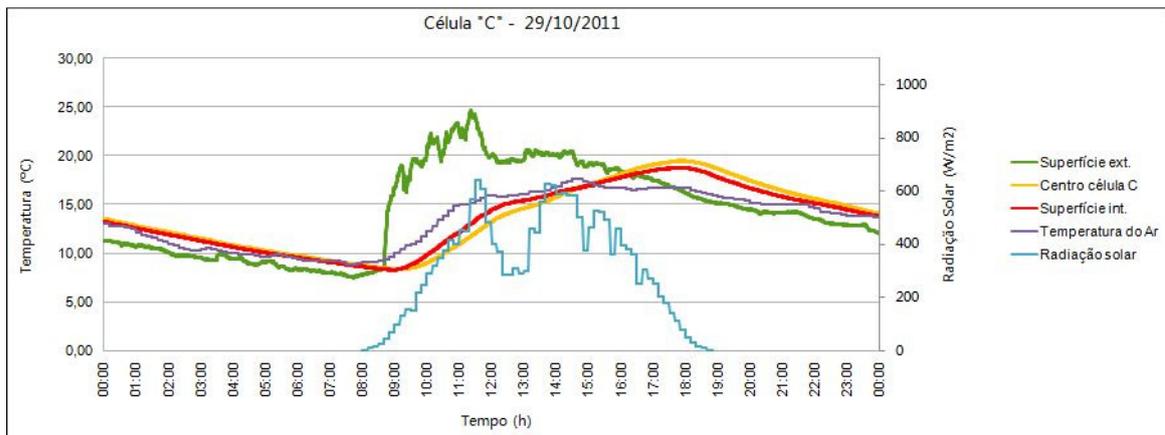


Figura 91: Temperaturas da célula "C" no dia 29 de Outubro de 2011