

AGRADECIMENTOS

Esta página apresenta a responsabilidade acrescida de expressar a minha gratidão, duma forma sucinta, a todas as pessoas e entidades que contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho, nomeadamente:

Ao meu orientador, Professor Luís Bragança, da Universidade do Minho;

Aos docentes e técnicos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, nomeadamente à Professora Manuela Almeida, ao Professor Saïd Jalali, ao Eng^o António Silva e à Eng^a Sandra Silva.

Ao Eng^o Pedro Silva, bolseiro do Projecto de Investigação da FCT – “Células de Teste de Edifícios Não Convencionais”, que colaborou na conclusão da construção das Células de Teste e na realização dos ensaios higrotérmicos e acústicos, na recolha e tratamento dos dados obtidos, bem como em outros estudos aqui apresentados;

A todos os docentes do Programa de Doutoramento “Àmbits de Recerca en l’Energia i el Medi Ambient a l’Arquitectura” da Universidade Politècnica da Catalunya, muito especialmente aos Professores Jaume Avellaneda e Rafael Serra;

Aos alunos da licenciatura de Engenharia Civil da Universidade do Minho: Filipe Queirós e Carla Figueiredo, bem como aos alunos de Programa Erasmus da Universidade Frederico II de Nápoles, Sofia Papavassiliu e Vitorio Massaro, pela colaboração em alguns dos estudos aqui apresentados;

Ao Eng^o Hélder Carvalho, do Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho pela elaboração do Programa “Solar Calculus”, que contribuiu na previsão do desempenho dos elementos sombreadores utilizados nas Células de Teste. Ao Eng^o Luis Domingues da Empresa Quantific, que deu apoio na instalação e configuração dos sensores para monitorização das Células de Teste e respectiva Estação Meteorológica;

Às empresas que forneceram alguns dos materiais necessários para a realização das Células de Edifícios Teste que serviram para a realização dos ensaios aqui apresentadas, nomeadamente AMORIM Isolamentos S.A.; COVIPOR - Saint-Gobain Glass Portugal, Vidro Plano S.A., DOW Portugal, Produtos Químicos Lda.; ONDULINE – Portugal S.A.; PAVINORTE – Jorge Silva Costa S.A.; SILANTO S.A.; GRUPO SONAE; TECHNAL – Portuguesa, Sistemas de Alumínio Lda.; VICAIMA, S.A.; VIROC Portugal, Lda.; 2 MIL AÇO – Construções Lda., bem como aos seus representantes e colaboradores;

A todas as empresas e instituições que colaboraram no fornecimento de diversos dados, como o Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, o LNEC e também às empresas que forneceram dados relativamente aos custos médios de construção, muito especialmente ao Sr. Manuel Monteiro da empresa Bico d’Obra e ao Eng^o Magaia da empresa Tugeira.

À empresa Tugeira e à empresa Vidrosantos pela conclusão graciosa de alguns trabalhos de construção civil nas Células de Teste;

À minha família e nomeadamente à minha mãe, que me ajudou na revisão gramatical e ortográfica de toda a tese e também a todos os que, de uma forma ou de outra, permitiram que este trabalho pudesse ser concluído e que não foram por lapso anteriormente enumerados.

Os meus sinceros agradecimentos

ÍNDICE GERAL

Capítulo I	OBJECTIVOS	pag.
1.1.	OBJECTIVOS GERAIS	1-2
1.2.	OBJECTIVOS ESPECÍFICOS	1-4

Capítulo II	JUSTIFICAÇÃO	pag.
2.1.	O PASSADO, PRESENTE E FUTURO DA ENERGIA	2-2
2.1.1.	<i>Evolução histórica da energia</i>	2-3
2.1.2.	<i>Caracterização da produção energética em Portugal</i>	2-5
2.1.3.	<i>As energias renováveis em Portugal e na União Europeia</i>	2-6
2.1.3.	<i>Caracterização energética dos transportes em Portugal</i>	2-10
2.1.4.	<i>Caracterização dos consumos energéticos dos edifícios de habitação em Portugal</i>	2-11
2.2.	IMPACTO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO	2-18
2.2.1.	<i>Poluição energética da construção</i>	2-23
2.2.2.	<i>Poluição material da construção</i>	2-29
2.2.3.	<i>Influência das emissões poluentes dos materiais no ambiente interior</i>	2-33
2.2.4.	<i>Influência da poluição na durabilidade dos materiais de construção</i>	2-34
2.2.5.	<i>Redução das perdas em obra</i>	2-34
2.2.6.	<i>Aumento da durabilidade</i>	2-34
2.2.7.	<i>Reciclagem</i>	2-36
2.2.8.	<i>Construir tendo em vista a desconstrução</i>	2-39
2.2.8.1.	Sistemas separados	2-39
2.2.8.2.	Possibilidade de separar os componentes em cada sistema	2-40
2.2.8.3.	Materiais standardizados e homogéneos	2-40
2.2.9.	<i>Economia da construção</i>	2-40
2.2.10.	<i>Recursos disponíveis</i>	2-43
2.2.10.1.	Pedra	2-44
2.2.10.2.	Cimento	2-45
2.2.10.3.	Tijolo	2-46
2.2.10.4.	Aço	2-47
2.2.10.5.	Alumínio	2-48
2.2.10.6.	Madeira	2-49
2.2.10.7.	Cortiça	2-50
2.2.10.8.	Vidro	2-51

Capítulo III	ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	pag.
3.1.	EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE PELE EXTERIOR	3-2
3.1.1.	<i>Relação entre janela e parede</i>	3-3
3.1.2.	<i>A fachada cortina</i>	3-6
3.1.3.	<i>A independentização da fachada</i>	3-9
3.1.4.	<i>A fachada tecnológica</i>	3-11
3.1.5.	<i>A fachada como elemento mediador energético</i>	3-13
3.1.6.	<i>Classificação dos tipos de pele exterior</i>	3-18
3.1.6.1.	Aspectos estruturais	3-18
3.1.6.2.	Constituição das camadas das paredes	3-19
3.1.6.3.	Transmissão térmica e luminosa	3-19
3.1.7.	<i>Sistemas de produção energética integrada</i>	3-21
3.1.7.1.	Colectores Solares Térmicos	3-21
3.1.7.2.	Painéis Fotovoltaicos	3-22
3.1.7.3.	Integração de Sistemas Solares Passivos na pele exterior	3-24
3.1.8.	<i>O futuro – a pele exterior reactiva?</i>	3-26
3.2.	EVOLUÇÃO DO CONCEITO SOLAR PASSIVO	3-29
3.3.	EVOLUÇÃO DO PESO PRÓPRIO DAS CONSTRUÇÕES	3-34
3.3.1.	<i>Evolução histórica das construções leves</i>	3-34
3.3.2.	<i>A redução do peso próprio e a tecnologia disponível</i>	3-40
3.4.	EVOLUÇÃO DA HABITAÇÃO EM PORTUGAL	3-44
3.4.1.	<i>Caracterização geográfica de Portugal</i>	3-44
3.4.2.	<i>Sistemas construtivos de paredes tradicionais</i>	3-46
3.4.2.1.	Paredes pesadas	3-46
3.4.2.2.	Paredes leves	3-48
3.4.2.3.	Paredes mistas	3-49
3.4.3.	<i>Evolução da morfologia da habitação e conforto</i>	3-52
3.4.3.1.	Abrigos	3-52
3.4.3.2.	Habitacões primitivas	3-53
3.4.3.3.	Habitacões tradicionais	3-55

4-1 pag. **SISTEMAS DE FACHADA****Capítulo IV**

4-2	A ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA PESADA	4.1.
4-2	<i>Paredes simples pesadas</i>	4.1.1.
4-3	A pedra estrutural	4.1.1.1.
4-6	Terra estrutural (taipa e adobe)	4.1.1.2.
4-11	Tijolo estrutural	4.1.1.3.
4-14	Betão estrutural	4.1.1.4.
4-16	Resumo das principais propriedades das Paredes simples pesadas	4.1.1.5.
4-17	<i>Paredes multi-camadas pesadas</i>	4.1.2.
4-17	Tipologias	4.1.2.1.
4-18	Resumo das principais propriedades das Paredes multi-camadas pesadas	4.1.2.1.
4-19	PRINCIPAIS COMPONENTES DA ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA LEVE	4.2.
4-20	<i>Madeira</i>	4.2.1.
4-21	Paredes maciças	4.2.1.1.
4-22	Paredes compostas - Sistemas de reforço estrutural	4.2.1.2.
4-24	Paredes compostas - Sistemas de cerramento	4.2.1.3.
4-29	<i>Metal</i>	4.2.2.
4-30	Paredes compostas – Sistemas de reforço estrutural	4.2.2.1.
4-32	Paredes compostas – Sistemas de cerramento	4.2.2.2.
4-32	<i>Placas de Gesso cartonado</i>	4.2.3.
4-34	<i>Polímeros e Materiais Compósitos</i>	4.2.4.
4-36	Painéis simples	4.2.4.1.
4-40	Painéis duplos e painéis sandwich poliméricos	4.2.4.2.
4-43	Membranas	4.2.4.3.
4-54	Factores de projecto	4.2.4.4.
4-55	<i>Isolamentos opacos</i>	4.2.5.
4-58	Espumas plásticas	4.2.5.1.
4-60	Fibras inorgânicas	4.2.5.2.
4-61	Fibras orgânicas	4.2.5.3.
4-63	<i>Resumo das principais propriedades das Paredes leves</i>	4.2.6.
4-64	A ENVOLVENTE EXTERIOR TRANSPARENTE E TRANSLÚCIDA LEVE	4.3.
4-64	<i>Vidro em fachadas</i>	4.3.1.
4-67	<i>Outros materiais transparentes e translúcidos</i>	4.3.2.
4-73	<i>Aspectos ambientais</i>	4.3.3.
4-75	OS SISTEMAS MISTOS DE ENVOLVENTE EXTERIOR	4.4.
4-75	<i>Parede dupla mista opaca</i>	4.4.1.
4-76	<i>Parede dupla mista transparente/opaca</i>	4.4.2.

5-1 pag. **TECNOLOGIAS SOLARES PASSIVAS****Capítulo V**

5-2	OS SISTEMAS SOLARES PASSIVOS	5.1.
5-7	<i>Ganho directo</i>	5.1.1.
5-9	Forma e disposição do edifício	5.1.1.1.
5-10	Vãos envidraçados em fachada	5.1.1.2.
5-12	Lanterim	5.1.1.3.
5-12	Clarabóia	5.1.1.4.
5-13	<i>Ganho indirecto</i>	5.1.2.
5-16	Paredes Trombe	5.1.2.1.
5-17	Paredes de água	5.1.2.2.
5-17	Coberturas de água	5.1.2.3.
5-18	Sistema indirecto pelo pavimento	5.1.2.4.
5-19	<i>Ganho separado</i>	5.1.3.
5-27	Estufas	5.1.3.1.
5-28	Termosifão	5.1.3.2.
5-29	Sistemas solares com aquecimento de ar (por convecção)	5.1.3.3.
5-31	<i>Sistemas de ganho solar híbridos</i>	5.1.4.
5-33	<i>Refrigeração directa</i>	5.1.5.
5-37	Protecção solar	5.1.5.1.
5-40	Ventilação natural	5.1.5.2.
5-40	<i>Refrigeração indirecta</i>	5.1.6.
5-40	Refrigeração por radiação nocturna	5.1.6.1.
5-41	Refrigeração por ventilação nocturna dos elementos de armazenamento térmico	5.1.6.2.
5-42	<i>Refrigeração separada</i>	5.1.7.
5-42	EXEMPLOS DE TECNOLOGIAS SOLARES PASSIVAS LIGEIRAS E MISTAS NÃO CONVENCIONAIS EXISTENTES	5.2.
5-45	<i>Membranas como reguladores térmicos</i>	5.2.1.
5-48	<i>Painéis com PCMs</i>	5.2.2.
	<i>Paredes acumuladoras com isolamento transparente / translúcido</i>	5.2.3.

Capítulo VI IMPLEMENTAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA pag. 6-1

6.1. TIPOLOGIA ARQUITECTÓNICA E ZONAMENTO	6-2
6.1.1. Estratégias	6-2
6.1.2. Um módulo de casa solar passiva de peso misto: aplicação dos sistemas a investigar em Células de Teste	6-4
6.2. ANÁLISE EXPERIMENTAL EM CÉLULAS DE TESTE	6-8
6.2.1. Célula Passys	6-10
6.2.2. Células de Edifício Teste	6-11
6.3. PREVISÃO DO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO, DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ACÚSTICO	6-16
6.3.1. Previsão do desempenho higratérmico e adequação à regulamentação portuguesa das Células de Edifício Teste	6-16
6.3.2. Previsão das condensações nos paramentos exteriores das Células de Edifício Teste	6-19
6.3.3. Previsão da iluminação natural das Células de Edifício Teste	6-23
6.3.4. Previsão do desempenho acústico e adequação à regulamentação portuguesa das Células de Edifício Teste	6-30
6.3.4.1. Previsão de $D_{n,w}$ nas fachadas da CET Convencional	6-31
6.3.4.2. Previsão de $D_{n,w}$ nas fachadas da CET Proposta	6-34
6.4. OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DA CONSTRUÇÃO	6-38
6.4.1. Optimização energética dos elementos de fachada	6-38
6.4.2. Optimização energética global da construção – análise com base nas Células de Teste	6-44
6.5. DESEMPENHOS HIGROTÉRMICO, DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ACÚSTICO, EXPERIMENTAIS, DAS CÉLULAS DE EDIFÍCIO TESTE	6-53
6.5.1. Avaliação do desempenho higratérmico	6-53
6.5.1.1. Plano de monitorização	6-53
6.5.1.2. Temperatura Ambiente	6-54
6.5.1.3. Humidade Relativa	6-57
6.5.1.4. Fluxo de Calor	6-59
6.5.1.5. Temperatura Superficial Interior	6-61
6.5.1.6. Temperatura Resultante e avaliação de conforto	6-62
6.5.1.7. Armazenamento térmico com PCMs (Célula Passys)	6-67
6.5.2. Avaliação da iluminação natural	6-73
6.5.2.1. Plano de monitorização	6-74
6.5.2.2. Caracterização das propriedades dos materiais	6-74
6.5.2.3. Factor de Luz-do-Dia	6-75
6.5.2.4. Condições de validade das medições sob céus encobertos reais	6-77
6.5.2.5. Aplicação ao caso em estudo	6-78
6.5.3. Avaliação do desempenho acústico	6-82
6.5.3.1. Descrição das medições	6-82
6.5.3.2. Resultados	6-83

Capítulo VII CONCLUSÕES pag. 7-1

7.1. RESULTADOS	7-2
7.2. LIMITAÇÕES	7-15
7.3. OBJECTIVOS FUTUROS	7-16

ANEXOS

A1	Propriedades dos Materiais e Sistemas de Fachada	A1-1
A2	Representações Esquemáticas das Paredes Estudadas	A2-1
A3	Tabelas de Caracterização Prévia das Paredes Estudadas	A3-1
A4	Previsão do Desempenho Térmico nas CET	A4-1
A5	Estudo Económico/Energético nas CET	A5-1
A6	Avaliação Experimental da Iluminação Natural nas CET	A6-1
A7	Avaliação Experimental do Desempenho Acústico nas CET	A7-1
A8	Proposta de Adaptação a Bar/Cafetaria	A8-1
A9	Fotografias da Obra de Construção das Células de Teste	A9-1

REFERÊNCIAS

PUBLICAÇÕES	R-I
PÁGINAS WEB	R-vii