

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

Curso de Engenharia Civil

Ricardo Forgiarini Rupp

**ANÁLISE DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PAREDES
COMPOSTAS POR TIJOLOS MACIÇOS**

Ijuí/RS

2009

Ricardo Forgiarini Rupp

**ANÁLISE DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PAREDES
COMPOSTAS POR TIJOLOS MACIÇOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Pivoto Specht

Co-Orientador: Prof. Dr. Pedro Augusto Pereira Borges

Ijuí/RS

2009

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em sua forma final pelos professores orientadores e pelo membro da banca examinadora.

Prof. Luciano Pivoto Specht, Dr. – Orientador
Unijuí/DeTec

Prof. Pedro Augusto Pereira Borges, Dr. - Co-orientador
Unijuí/DeFEM

Banca Examinadora

Prof. Raquel Kohler, Msc
Unijuí/DeTec

*À meus pais, Alfredo Ricardo Rupp e
Maria Terezinha Forgiarini Rupp.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão às várias pessoas que me deram sua ajuda e seu apoio durante o período em que me dediquei a este trabalho. Não caberia aqui relacionar todas essas pessoas, porém sou especialmente grato:

- Ao meu orientador Pedro Borges, o qual conheci acerca de dois anos, pela seriedade, pelas boas explicações sobre os princípios básicos e não tão básicos em ciência e matemática, mesmo tendo de repetir tais esclarecimentos, demonstrando ter uma paciência enorme e ser um ótimo educador.
- Ao meu orientador, professor e também tutor do Grupo PET-EGC, no qual ainda faço parte neste momento, Luciano Specht, pelos ensinamentos passados ao longo desses cinco anos de graduação, pelo incentivo, entusiasmo e apoio à investigação científica.
- À mestranda Rosane Zanon que dividiu comigo as longas horas dos ensaios experimentais deste trabalho.
- Aos funcionários da Unijuí, Luís, Tiago, Simone, Cassiana e Floriano, pelo auxílio em questões voltadas a parte laboratorial da pesquisa.
- À professora Raquel Kohler pela indicação das bibliografias pertinentes ao tema da pesquisa e ao professor Marcelo Duart pela ajuda nos aspectos construtivos e na composição dos custos das paredes.
- Aos demais professores que passaram ensinamentos ao longo do curso.
- Aos colegas e pesquisadores que compartilharam seus últimos cinco anos comigo.
- Aos meus amigos e familiares que de uma forma ou de outra me incentivaram no decorrer do curso.
- E por último, mas não menos importante, gostaria muito de agradecer aos meus pais, pelo esforço, apoio, zelo, amor, e dedicação depositados em mim. Mas principalmente por priorizarem a minha educação e por me conscientizarem, mesmo as vezes sem saber, sobre os valores que realmente importam na vida. De certa forma, este trabalho também é de vocês.

RESUMO

Com a vigente preocupação ambiental, devido à crise ecológica, o homem busca maneiras de contornar esse problema, já que ele próprio é o maior responsável por esta atual situação. Neste sentido e sabendo-se que grande parte do gasto energético mundial - principal agravante desta crise - ocorre com refrigeração e calefação de ambientes de edificações, é de vital importância o estudo de transferência de calor nestas construções. Dentro desse contexto o objetivo geral deste trabalho é avaliar configurações diversas de paredes compostas por diferentes tipos e disposições de materiais sob a ótica da térmica em edifícios. Para a realização dos ensaios experimentais de transferência de calor foi confeccionada uma câmara térmica. A câmara possui uma de suas extremidades aberta, e nesta foram acopladas 8 configurações diferentes de paredes (que variam no tipo e na disposição de materiais), que foram construídas em laboratório. Nessas paredes inseriu-se sensores de temperatura ao longo da sua espessura. O problema de transferência de calor em paredes compostas por diferentes tipos de materiais foi modelado pela conhecida equação da energia, resolvida em Diferenças Finitas Centrais utilizando-se do Método Implícito. As difusividades térmicas dos materiais foram calculadas resolvendo o Problema Inverso de transferência de calor. Também foi calculado o fluxo de calor e a quantidade de calor em cada parede, além da estimativa de custo total, finalizando com a obtenção da relação termo-econômica para cada parede. Os valores de difusividade térmica dos materiais em estudo são muito próximos (ordem de 10^{-7}), com exceção do ar, que apresenta α na ordem de 10^{-5} . Através da análise termo-econômica pode-se constatar que apesar do investimento inicial ser relativamente maior nas paredes mais espessas e/ou com isolamento térmico (ar e EPS), estas apresentam um comportamento térmico muito superior aquelas tradicionais. Notadamente, a parede com EPS na face exterior apresentou o melhor desempenho. Desta forma, fica evidente a importância de levar em consideração outras variáveis, além da econômica, para a escolha dos materiais de construção. A câmara térmica e o programa desenvolvido demonstraram ser instrumentos úteis para a finalidade deste trabalho.

Palavras-chave: transferência de calor, eficiência energética, construção civil

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modos de transferência de calor atuantes em uma parede.....	26
Figura 2: Transmitância térmica em uma parede.	29
Figura 3: Mapa dos climas do Brasil.....	31
Figura 4: Temperatura média anual do RS.....	32
Figura 5: Produção mundial de EPS em 2000.....	36
Figura 6: Distribuição mundial de EPS por setor em 2000.....	36
Figura 7: Alternativas de isolamento térmico por climas.....	38
Figura 8: Isolamento em parede dupla.....	39
Figura 9: Cortes esquemáticos da câmara térmica.....	42
Figura 10: Esquema de confecção da câmara térmica.....	42
Figura 11: Câmara térmica.....	42
Figura 12: Curva granulométrica da areia.....	49
Figura 13: Termômetro utilizado.....	55
Figura 14: Parede 1 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.....	58
Figura 15: Parede 2 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.....	59
Figura 16: Parede 3 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.....	59
Figura 17: Parede 4 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.....	60
Figura 18: Parede 5 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.....	60
Figura 19: Parede 6 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.....	61
Figura 20: Parede 7 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.....	61
Figura 21: Parede 8 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.....	62
Figura 22: Acoplamento da parede em estudo à câmara térmica.....	63
Figura 23: Leitura das temperaturas dos sensores.....	63
Figura 24: Ensaio 01 - Teste piloto.....	65
Figura 25: Ensaio 02 – Repetição do teste piloto.....	65
Figura 26: Sobreposição do Ensaio 01 e do Ensaio 02.....	66
Figura 27: Detalhe da parede composta por materiais de difusividades térmicas e espessuras....	68
Figura 28: Fluxos positivos e negativos em uma parede.....	72
Figura 29: Curvas das condições de fronteira da parede 7.....	75
Figura 30: P7 com α rebobo= 4×10^{-7} m/s ² ; α tijolo= 5×10^{-7} m/s ² ; α ar= 5×10^{-5} m/s ²	77
Figura 31: P7 com α rebobo= 5×10^{-7} m/s ² ; α tijolo= 5×10^{-7} m/s ² ; α ar= 5×10^{-5} m/s ²	78
Figura 32: Parede 1 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.....	81

Figura 33: Parede 2 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.....	82
Figura 34: Parede 3 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.....	82
Figura 35: Parede 4 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.....	83
Figura 36: Parede 5 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.....	83
Figura 37: Parede 6 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.....	84
Figura 38: Parede 7 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.....	84
Figura 39: Parede 8 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.....	85
Figura 40: Fluxo de calor na parede 1	86
Figura 41: Fluxo de calor na parede 2	86
Figura 42: Fluxo de calor na parede 3	87
Figura 43: Fluxo de calor na parede 4	87
Figura 44: Fluxo de calor na parede 5	88
Figura 45: Fluxo de calor na parede 6	88
Figura 46: Fluxo de calor na parede 7	89
Figura 47: Fluxo de calor na parede 8	89
Figura 48: Custo total por metro quadrado das paredes estudadas	92
Figura 49: Relação termo-econômica das paredes	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades termofísicas de alguns materiais de construção.....	27
Tabela 2: Características exigíveis para o EPS.	37
Tabela 3: Valores de transmitância térmica (U) em diferentes soluções construtivas.	40
Tabela 4: Exigências do cimento Portland CP II-E-32.....	47
Tabela 5: Exigências da cal hidratada CH-II.....	47
Tabela 6: Resultado do ensaio de granulometria da areia	48
Tabela 7: Resultado do ensaio de massa específica aparente da areia	49
Tabela 8: Resultado do ensaio de massa unitária solta da areia	49
Tabela 9: Resultado do ensaio de absorção de água do tijolo	50
Tabela 10: Resultado do ensaio de formas e dimensões do tijolo.....	50
Tabela 11: Resultado do ensaio de resistência à compressão do tijolo	51
Tabela 12: Resultado do ensaio de massa específica aparente do tijolo	51
Tabela 13: Resultado do ensaio de massa específica aparente do EPS	52
Tabela 14: Resultados dos ensaios de massa esp. aparente e de resistência da argamassa.....	53
Tabela 15: Resultados dos ensaios de massa esp. aparente e de resistência da argamassa.....	54
Tabela 16: Comparação dos sensores de temperatura com termômetro de vidro calibrado ...	56
Tabela 17: Equações de correção dos sensores de temperatura	57
Tabela 18: Estágios de temperatura do ensaio.....	64
Tabela 19: Coeficientes ajustados da Equação (3.3).....	75
Tabela 20: Parâmetros térmicos dos materiais	76
Tabela 21: Difusividades térmicas dos materiais	79
Tabela 22: Difusividades térmicas dos materiais reavaliadas	80
Tabela 23: Fluxo e quantidade de calor para 16h.....	90
Tabela 24: Classificação das paredes quanto ao desempenho térmico	91
Tabela 25: Classificação das paredes quanto ao custo total	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Configurações das paredes 1 a 3	44
Quadro 2: Configurações das paredes 4 a 6	45
Quadro 3: Configurações das paredes 7 e 8	46
Quadro 4: Especificações do termômetro utilizado.....	55
Quadro 5: Desempenho termo-econômico	97

LISTA DE SIGLAS

ABRAPEX: Associação Brasileira do Poliestireno Expandido

ACEPE: Associação Industrial do Poliestireno Expandido (Portugal)

AREAM-URE: Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira - Projeto de Utilização Racional de Energia (Portugal)

CP: Corpo-de-prova

DFC: Diferenças Finitas Centrais

EPS: *Expanded Polystyrene* (Poliestireno Expandido)

ESTT-IPT: Escola Superior de Tecnologia de Tomar - Instituto Politécnico de Tomar (Portugal)

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LEC: Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ

MEA: Massa Específica Aparente

MPR: Método de Procura em Rede

MI: Método Implícito

NBR: Norma Brasileira

PD: Problema Direto

PI: Problema Inverso

PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RC: Resistência à Compressão

RS: Rio Grande do Sul

SEPLAG-RS: Secretaria de Planejamento e Gestão do Rio Grande do Sul

SINAPI: Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil

UNIJUÍ: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

A : parâmetro associado à temperatura máxima;

a : parâmetro ajustado associado à curvatura da função;

b : é um parâmetro ajustado associado ao instante de máxima temperatura;

α : difusividade térmica

α_{ot} : difusividade térmica ótima

C : custo total

$^{\circ}C$: grau *Celsius*

cm : centímetro

C_p : calor específico

dm : decímetro

dT : variação de temperatura na direção x

dt : intervalo de tempo

dx : distância de dois pontos na direção x

E : relação termo-econômica (índice)

e_i : espessura

F_{max} : fluxo de calor máximo

g : grama

h : hora

J : *Joule*

k : condutibilidade térmica

K : *Kelvin*

MPa : megapascal

kg : quilograma

λ : condutividade térmica

L : espessura total da parede

m: metro

mm: milímetro

P1: parede 1

P2: parede 2

P3: parede 3

P4: parede 4

P5: parede 5

P6: parede 6

P7: parede 7

P8: parede 8

Q: quantidade de calor

QT: quantidade total de calor

q: fluxo de calor

R^2 : coeficiente de correlação

Rse: resistência superficial externa

Rsi: resistência superficial interna

Rt: resistência térmica total

S: superfície

s: segundo

S₁: sensor de temperatura 1

S₂: sensor de temperatura 2

S₃: sensor de temperatura 3

S₄: sensor de temperatura 4

S₅: sensor de temperatura 5

S₆: sensor de temperatura 6

S₇: sensor de temperatura 7

S₈: sensor de temperatura 8

S₉: sensor de temperatura 9

SQE: somatório do quadrado dos erros

SQT : somatório do quadrado das diferenças entre os dados experimentais e a média destes

t : tempo

T : temperatura

T_{cal} : temperatura calculada

T_{exp} : temperatura experimental

T_f : temperatura nas superfícies (externa ou interna)

T_m : temperatura média experimental

U : transmitância térmica

W : Watt

x : distância

x_{cal} : temperatura calculada

x_{exp} : temperatura experimental

ρ : densidade ou massa específica

ρC_p : capacidade calorífica volumétrica

$\frac{\partial T}{\partial t}$: variação da temperatura em função do tempo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 TEMA DA PESQUISA	18
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	18
1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO	18
1.4 OBJETIVOS.....	19
1.4.1. <i>Objetivo geral</i>	19
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	19
1.5 JUSTIFICATIVAS	19
1.6 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA	22
2. REVISÃO DA LITERATURA	24
2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	24
2.1.1 <i>TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO</i>	25
2.1.2 <i>TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO</i>	25
2.1.3 <i>TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO</i>	25
2.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS	26
2.2.1 <i>DIFUSIVIDADE TÉRMICA</i>	26
2.2.2 <i>RESISTÊNCIA TÉRMICA E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA</i>	28
2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	29
2.3.1 <i>VARIÁVEIS CLIMÁTICAS</i>	30
2.3.2 <i>VARIÁVEIS HUMANAS</i>	32
2.3.3 <i>VARIÁVEIS ARQUITETÔNICAS</i>	33
2.4 FECHAMENTOS OPACOS – PAREDES	34
2.4.1 <i>INÉRCIA TÉRMICA</i>	34
2.4.2 <i>ISOLAMENTO TÉRMICO</i>	35
2.4.3 <i>IMPLICAÇÕES CONSTRUTIVAS</i>	39
3. METODOLOGIA.....	41
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	41
3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA	41
3.2.1 <i>DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO (CÂMARA TÉRMICA)</i>	41
3.2.2 <i>REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS LABORATORIAIS</i>	43

3.2.3	<i>IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA</i>	43
3.3	MATERIAIS UTILIZADOS PARA A CONSTRUÇÃO DAS PAREDES	46
3.3.1	<i>CIMENTO</i>	47
3.3.2	<i>CAL</i>	47
3.3.3	<i>AREIA</i>	48
3.3.4	<i>TIJOLO MACIÇO</i>	50
3.3.5	<i>POLIESTIRENO EXPANDIDO</i>	52
3.3.6	<i>ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO</i>	52
3.3.7	<i>CHAPISCO</i>	53
3.3.8	<i>ARGAMASSA DE REVESTIMENTO</i>	53
3.4	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	54
3.4.1	<i>CALIBRAÇÃO DOS SENSORES DE TEMPERATURA</i>	54
3.4.2	<i>PROCEDIMENTOS DE INSTRUMENTAÇÃO DAS PAREDES</i>	57
3.4.3	<i>PROCEDIMENTOS DE ENSAIO</i>	62
3.4.4	<i>VALIDAÇÃO DO EQUIPAMENTO (CÂMARA TÉRMICA)</i>	64
3.5	MODELAGEM MATEMÁTICA.....	67
3.5.1	<i>TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PAREDES COMPOSTAS - O PROBLEMA DIRETO (PD)</i> ...67	
3.5.2	<i>CONDIÇÕES DE CONTORNO</i>	68
3.5.3	<i>CÁLCULO DAS DIFUSIVIDADES TÉRMICAS - O PROBLEMA INVERSO (PI)</i>	69
3.5.4	<i>FLUXO E QUANTIDADE DE CALOR</i>	71
3.5.5	<i>RELAÇÃO TERMO-ECONÔMICA</i>	73
4.	RESULTADOS	74
4.1	AJUSTE DE CURVAS NAS SUPERFÍCIES DAS PAREDES	74
4.2	DIFUSIVIDADE TÉRMICA DOS MATERIAIS	76
4.3	FLUXO DE CALOR.....	85
4.3.1	<i>FLUXO MÁXIMO DE CALOR E QUANTIDADE DE CALOR</i>	90
4.4	ANÁLISE TERMO-ECONÔMICA.....	91
4.4.1	<i>CUSTO TOTAL DE CADA PAREDE</i>	91
4.4.2	<i>RELAÇÃO TERMO-ECONÔMICA</i>	93
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
5.1	CONCLUSÕES	96
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	98

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXO A.....	104
ANEXO B.....	107
ANEXO C.....	116

1. INTRODUÇÃO

1.1 Tema da Pesquisa

O tema da pesquisa é: Térmica em Edificações.

1.2 Delimitação do Tema

Este trabalho investiga a transferência de calor em estruturas de vedação compostas por diferentes tipos e disposições de materiais.

1.3 Formulação da questão de estudo

As questões que norteiam a pesquisa são:

- Qual é o fluxo de calor de diferentes configurações de paredes em tijolo maciço ?
- Quais as configurações de paredes, dentre as estudadas, que apresentam melhor desempenho térmico e econômico?

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo geral

Avaliar configurações diversas de paredes compostas por diferentes tipos e disposições de materiais sob a ótica da térmica em edifícios.

1.4.2. Objetivos específicos

- Projetar e confeccionar uma “câmara térmica”;
- Determinar em laboratório a distribuição de temperatura em paredes constituídas por diferentes tipos e disposições de materiais;
- Determinar a difusividade térmica (α) dos materiais utilizados;
- Determinar o fluxo de calor nas superfícies externas e internas de cada configuração de parede;
- Determinar um índice característico de cada configuração de parede para avaliar o correspondente desempenho térmico e econômico.

1.5 Justificativas

Na parte norte da União Européia, conforme afirmam Itard & Meijer (2008), 41% do total do consumo final de energia são gastos em edificações, sendo 30% utilizados em construções residenciais. De acordo com a EuroAce (2004), 57% do consumo de energia em

edificações são gastos com aquecimento de ambientes, 25% com aquecimento de água, 11% com iluminação e utensílios elétricos, e 7% com preparos de alimentos.

Já nos Estados Unidos da América o *Buildings Energy Data Book* apud Kwok & Rajkovich (2009) publicado pelo Departamento de Energia, mostra que em 2006 o setor da construção consumiu 38,8% do total da energia primaria utilizada no país. Desta energia, 34,8% foi usada para aquecimento de ambientes, ventilação e ar condicionado.

No caso específico do Brasil, de acordo com o PROCEL (2009), cerca de 16% da produção nacional de energia elétrica é utilizada em edifícios comerciais e 25% no setor residencial. De acordo com Lamberts, Dutra & Pereira (1997) existem estudos que mostram que 48% do total do consumo de energia elétrica em edificações comerciais são gastos com condicionamento de ar, já em edifícios comerciais com fachadas envidraçadas este valor pode chegar a 70% do total consumido.

Para agravar a situação, nas palavras de Gasparini (2005, p. 1):

Cabe salientar que no condicionamento de ar o desperdício de energia é grande e as maneiras de reduzir o consumo são fáceis e sem grandes investimentos. O emprego de materiais com maior resistência térmica poderia representar, em muitos casos, uma grande redução no consumo de energia elétrica em edificações com ambientes climatizados e também representar um maior conforto dos ocupantes de edificações sem condicionamento de ar, já que estes materiais proporcionam maior isolamento térmico do ambiente a ser ocupado, diminuindo as trocas de calor com o meio externo.

Assim, apesar de no Brasil a maioria dos ambientes não serem climatizados (segundo dados do PROCEL de 2009, no setor residencial apenas 7% da produção nacional de energia elétrica é utilizada com este fim), devido ao baixo poder aquisitivo da população ou por outras questões econômicas (fato que tende a mudar graças ao desenvolvimento da economia brasileira), nos locais onde há condicionamento de ar, muita energia é desperdiçada, é perdida através da envolvente da edificação Deve-se isto à falta de conscientização, perante a necessidade de utilização de soluções construtivas simples que resolveriam, ou ao menos minimizariam tal problema, tanto dos intervenientes responsáveis pelo projeto e execução das obras (arquitetos, engenheiros, projetistas) quanto pelos usuários das edificações. Falta conscientização acerca da sustentabilidade.

A definição de sustentabilidade mais divulgada é a definida pela *United Nations World Commission on Environment and Development*, em 1987, através do documento intitulado *Our Common Future*, que é também conhecido como *The Brundtland Report*. Neste documento a sustentabilidade é definida como um processo de mudança, onde a exploração de recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional devem estar em harmonia e devem aumentar o potencial de suprimento das necessidades e aspirações humanas (BRANDON apud SPERB, 2000).

Uma das necessidades e aspirações humanas, no que diz respeito à ambientes edificados, é o conforto térmico. Conforto térmico é definido pela NBR 15220-1 como sendo um estado de “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”. De fato, e conforme Rocha (2004), o conforto térmico de habitações pode ser garantido, na maior parte dos casos, evitando-se o uso de sistemas de ar condicionado, desta forma economizando energia, desde que o projeto destas seja adequado ao clima.

Por esses motivos que se torna importante estudar a transferência de calor em edificações, reduzindo o dispêndio de energia elétrica em ambientes climatizados e melhorando o conforto térmico de ambientes não climatizados.

Também é importante salientar que o estudo em questão pode ser utilizado para racionalizar o consumo de energia para construções não habitáveis, como por exemplo, uma câmara fria de um frigorífico, ou estruturas de armazenamento de grãos, como silos e armazéns, que necessitam que a temperatura do ambiente interno seja mantida relativamente baixa.

Outro fator para corroborar a necessidade destes estudos térmicos é que na literatura há disponível para consulta os valores de parâmetros térmicos de diversos materiais, inclusive de materiais de construção, porém esses são valores globais; conforme a região (clima, composição físico-química dos materiais, etc.) esses valores tendem a apresentar diferenças com relação aos dados tabelados. Desta forma é relevante o conhecimento dos parâmetros térmicos dos materiais de uma determinada região.

O uso da simulação da realidade, através da implementação de modelos matemáticos em ferramentas computacionais, além de representar economia de tempo e dinheiro, descarta, ou minimiza, o uso de grandes quantidades de materiais com fins experimentais para pesquisa.

Dentro deste contexto o modelo matemático pode ser aplicado, por exemplo, pelo projetista, para uma tomada de decisão a respeito de quais materiais escolher (dentre os disponíveis na região) e de como dispô-los para a construção de um fechamento de vão em uma edificação, de tal modo otimizando a utilização de materiais regionais.

No conjunto de informações apresentadas nota-se a necessidade da realização de estudos térmicos em edificações, pois assim, consegue-se elaborar projetos mais eficientes do ponto de vista energético, utilizando-se de materiais de melhor qualidade (disponíveis na região), garantindo-se temperaturas adequadas tanto em construções habitáveis quanto em construções não-habitáveis e com o mínimo possível do uso de energia para manter estas temperaturas nos ambientes que necessitam de algum tipo de calefação ou refrigeração, portanto, buscando a sustentabilidade nas edificações.

1.6 Organização da pesquisa

Além do Capítulo 1 que apresenta o tema da pesquisa, a delimitação do tema, a formulação da questão de estudo, o objetivo geral, os objetivos específicos e as justificativas, o trabalho foi organizado da seguinte forma:

2º Capítulo: apresenta a revisão de literatura, onde são abordados os seguintes temas: transferência de calor; propriedades térmicas dos materiais; eficiência energética em edificações; fechamentos opacos – paredes.

3º Capítulo: aborda a metodologia da pesquisa, onde são tratados da classificação do estudo; do planejamento da pesquisa; dos materiais utilizados na pesquisa; dos procedimentos experimentais e da modelagem matemática.

4° Capítulo: apresenta a análise e a interpretação dos resultados.

5° Capítulo: trata das conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

No final do trabalho são apresentadas as referências bibliográficas, bem como os anexos pertinentes.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Transferência de calor

Segundo Costa (1974) sempre que houver a existência de uma diferença de temperatura entre duas regiões do espaço esta tende a desaparecer, de maneira espontânea, pela passagem de calor de uma região para outra. Em outras palavras Dewitt & Incropera (2003) afirmam que sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes, ocorre transferência de calor (é a energia térmica em trânsito).

Ao conjunto de fenômenos que caracterizam essa passagem de calor dá-se o nome de transferência de calor. A transferência de calor pode efetuar-se através de três maneiras distintas: por condução, por convecção e por radiação. Cada um desses modos obedece a leis próprias, porém têm em comum dois pressupostos básicos: a necessidade de uma diferença de temperatura entre as duas regiões e, o fluxo térmico se verifica no sentido das temperaturas decrescentes (COSTA, 1974).

De acordo com Dewitt & Incropera (2003) fluxo térmico ou fluxo de calor é a taxa de transferência de calor por unidade de área. O fluxo pode acontecer de duas maneiras: fluxo térmico estacionário e fluxo térmico transiente.

O fluxo térmico é chamado estacionário ou permanente, quando não varia com o tempo, isto é, o calor que penetra no corpo é igual ao calor que abandona o mesmo. No regime de transferência de calor permanente, a distribuição das temperaturas no interior do corpo no qual se verifica a passagem de calor também não varia com o tempo (COSTA, 1974).

O fluxo térmico chama-se transiente, não-permanente ou transitório, quando o mesmo varia com o tempo. É o que acontece no aquecimento ou resfriamento dos corpos no qual o fluxo térmico à montante é diferente do fluxo térmico à jusante, de modo que as temperaturas no interior do corpo dependem não só do ponto considerado como do tempo (COSTA, 1974).

Achou-se conveniente apresentar, mesmo que de forma resumida, os três modos de transferência de calor existentes (a Figura 1 apresenta tais modos atuando em uma parede), assim, pela definição de Dewitt & Incropera (2003):

2.1.1 Transferência de calor por condução

A condução pode ser vista como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as partículas de menor energia, em um meio, devido às interações entre elas.

2.1.2 Transferência de calor por convecção

O modo de transferência de calor por convecção é composto por dois mecanismos: a transferência de calor devido ao movimento aleatório molecular (difusão) e pelo movimento global, ou macroscópico, do fluido.

2.1.3 Transferência de calor por radiação

A radiação ou irradiação térmica é a energia emitida por toda matéria que se encontra a uma temperatura finita. A energia do campo de radiação é transportada por ondas eletromagnéticas. Enquanto a transferência de calor por condução ou convecção requer a presença de um meio material, a radiação não necessita dele (aliás, ocorre de maneira mais eficiente no vácuo).

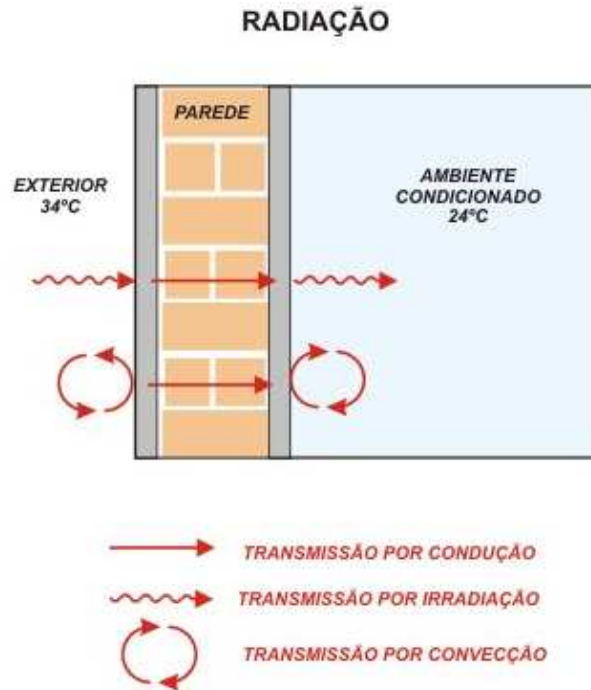


Fig. 1: Modos de transferência de calor atuantes em uma parede.

Fonte: MICHELENA, 2009.

2.2 Propriedades térmicas dos materiais

2.2.1 Difusividade térmica

A difusividade térmica depende de três diferentes propriedades da matéria. Essas propriedades são conhecidas como propriedades termofísicas e incluem duas categorias distintas, propriedades de transporte (incluem os coeficientes de taxa de difusão, que para a transferência de calor depende da condutividade térmica k – que também é representada por λ) e propriedades termodinâmicas – que dizem respeito ao estado de equilíbrio de um sistema. Massa específica (ρ) e calor específico (C_p) são duas dessas propriedades amplamente utilizadas em análise termodinâmica. O produto (ρC_p) é a capacidade calorífica volumétrica e representa a capacidade de um material em armazenar energia térmica (DEWITT & INCROPERA, 2003).

Na análise de transferência de calor, a razão entre condutividade térmica e capacidade calorífica volumétrica é uma propriedade importante dos materiais denominada de difusividade térmica α , conforme a Equação (1).

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (1)$$

onde:

α = difusividade térmica (m^2 / s);

k = condutividade térmica ($W / m.^{\circ}C$);

ρ = densidade ou massa específica (kg / m^3);

C_p = calor específico ($J / kg.^{\circ}C$).

Valores dos parâmetros térmicos de alguns materiais encontram-se na Tabela 1. Os valores das propriedades termofísicas para diversos materiais encontram-se na NBR 15220-2 (tabela B.3) e em Dewitt & Incropera (2003) – Apêndice A.

Tabela 1 – Propriedades termofísicas de alguns materiais de construção.

Material	ρ (kg/m ³)	k (W/m.K)	Cp (kJ/kg.K)
Areia seca	1500	0,30	2,09
Areia (10% de umidade)	1500	0,93	-
Areia (20% de umidade)	1500	1,33	-
Areia saturada	2500	1,88	-
Brita ou seixo	1000 - 1500	0,70	0,80
Argamassa de assentamento/reboco comum	1800 - 2100	1,15	1,00
Tijolo cerâmico	1000 - 1300	0,70	0,92
	1300 - 1600	0,90	0,92
	1600 - 1800	1,00	0,92
	1800 - 2000	1,05	0,92
Poliestireno expandido	25 - 40	0,04	1,42

Fonte: NBR 15220-2.

A difusividade térmica mede a capacidade do material de conduzir energia térmica em relação à sua capacidade de armazená-la. Assim, materiais com altos valores de difusividade térmica responderão rapidamente a mudanças nas condições térmicas impostas a ele, enquanto materiais com valores menores de α responderão mais lentamente, levando um tempo maior para atingir uma nova condição de equilíbrio. (DEWITT & INCROPERA, 2003).

2.2.2 Resistência térmica e transmitância térmica

A transmitância térmica é o inverso da resistência térmica, ou seja, quanto maior a resistência térmica total de um conjunto de materiais, por exemplo, formando uma parede, menor será a quantidade de energia transferida por esta. Essa relação para uma parede composta por n camadas de materiais é expressa em Lamberts, Dutra & Pereira (1997) pela Equação (2).

$$Rt = \frac{1}{U} = Rse + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i} + Rsi \quad (2)$$

onde:

Rt = resistência térmica total ($m^2 \circ C / W$);

U = transmitância térmica ($W / m^2 \circ C$);

Rse = resistência superficial interna ($m^2 \circ C / W$);

Rsi = resistência superficial externa ($m^2 \circ C / W$);

e = espessura de cada camada de material (m);

k = condutividade térmica de cada camada de material; ($W / m \circ C$).

Alguns valores de U para paredes típicas brasileiras encontram-se no anexo C da NBR 15220-3. Os valores de Rse e Rsi encontram-se no anexo A da NBR 15220-2. Na Figura 2

está representado uma parede de tijolo com reboco em ambas as faces, demonstrando o procedimento de cálculo para a mesma.

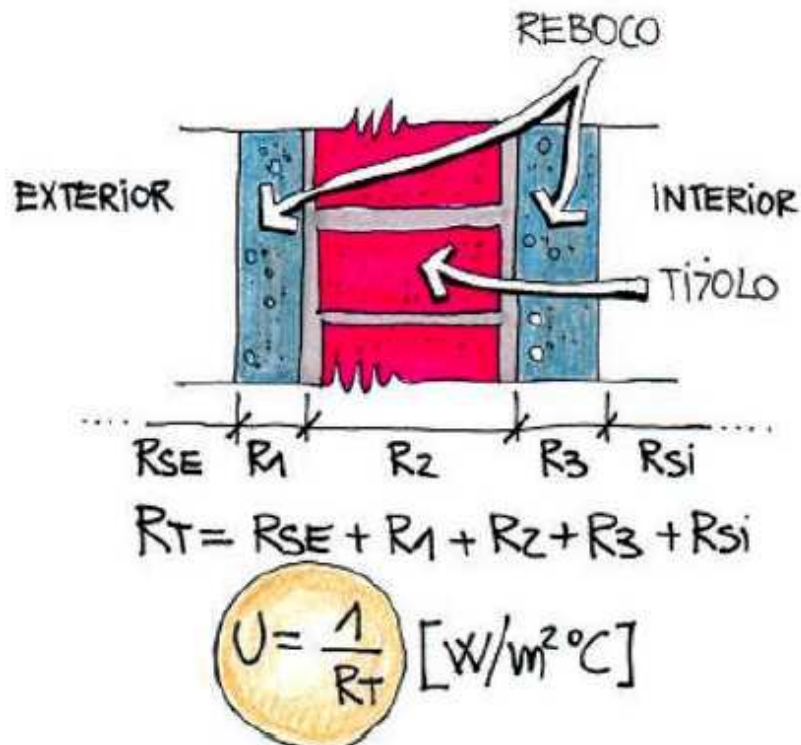


Fig. 2: Transmitância térmica em uma parede.

Fonte: Lamberts, Dutra & Pereira, 1997.

Através do cálculo da transmitância térmica, na opinião de Lamberts, Dutra & Pereira (1997), pode-se avaliar o comportamento de um fechamento opaco frente à transmissão de calor, tendo subsídios inclusive para comparar diversas opções de fechamentos.

2.3 Eficiência energética em edificações

Diversos fatores têm contribuído para o aumento do uso de energia por todo o mundo. A globalização disseminou mundialmente o estilo de vida dos países mais desenvolvidos, levando muitas sociedades a um ponto extremo onde não é possível reverter o quadro e viver sustentavelmente. Um destes fatores que causam grande impacto ambiental em nações desenvolvidas é o uso de energia em edificações. Globalmente, a indústria da construção e o ambiente construído são alguns dos maiores consumidores de energia e materiais (SANTIN, ITARD & VISSCHER, 2009).

Um dos maiores problemas desse acréscimo do consumo mundial de energia é o aquecimento global. Assim, na tentativa de reverter essa atual situação surge o protocolo de Kyoto, no qual está definido que os países que o assinaram (na maioria países desenvolvidos) se comprometem a reduzir as emissões de gases do efeito estufa em pelo menos 5% (em relação aos níveis de 1990) no período entre 2008 e 2012.

Desta forma, dentre os métodos que os governos dispõem para atingir esta meta estão: melhorar a eficiência energética das edificações e os sistemas de energia, desenvolver conceitos de construções sustentáveis e promover o uso de fontes renováveis de energia (CHLELA et al, 2007).

Conforme Lamberts, Dutra & Pereira (1997) eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com poucas perdas de energia. Portanto, uma edificação é mais eficiente energeticamente que outra quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

Para se conseguir melhorar a eficiência energética é necessário o estudo prévio, ao projeto arquitetônico, das principais variáveis intervenientes nas edificações, que de acordo com esses autores são: variáveis climáticas, variáveis humanas e variáveis arquitetônicas.

2.3.1 Variáveis climáticas

O clima, entendido como parâmetro de projeto, apresenta-se como um dos elementos fundamentais influentes para os consumos de energia na edificação. Sem um conhecimento profundo das características climáticas, mesmo um projetista muito experiente não conseguirá adequar a tecnologia à zona climática de maneira eficaz. (MASCARÓ, J. & MASCARÓ, L., 1992).

De acordo com Romero (1988) existem dois tipos de clima, o macroclima e o microclima, cada um influenciado por uma série de parâmetros. O macroclima é

condicionado, determinado e originado por fatores climáticos globais que são radiação solar, latitude, longitude, altitude, ventos e massas de água e terra. Já o microclima (clima que se verifica num ponto restrito – cidade, bairro, rua, etc.) é condicionado, determinado e originado por fatores climáticos locais que são topografia, vegetação e a superfície do solo natural ou construído. A Figura 3 apresenta os principais climas brasileiros.

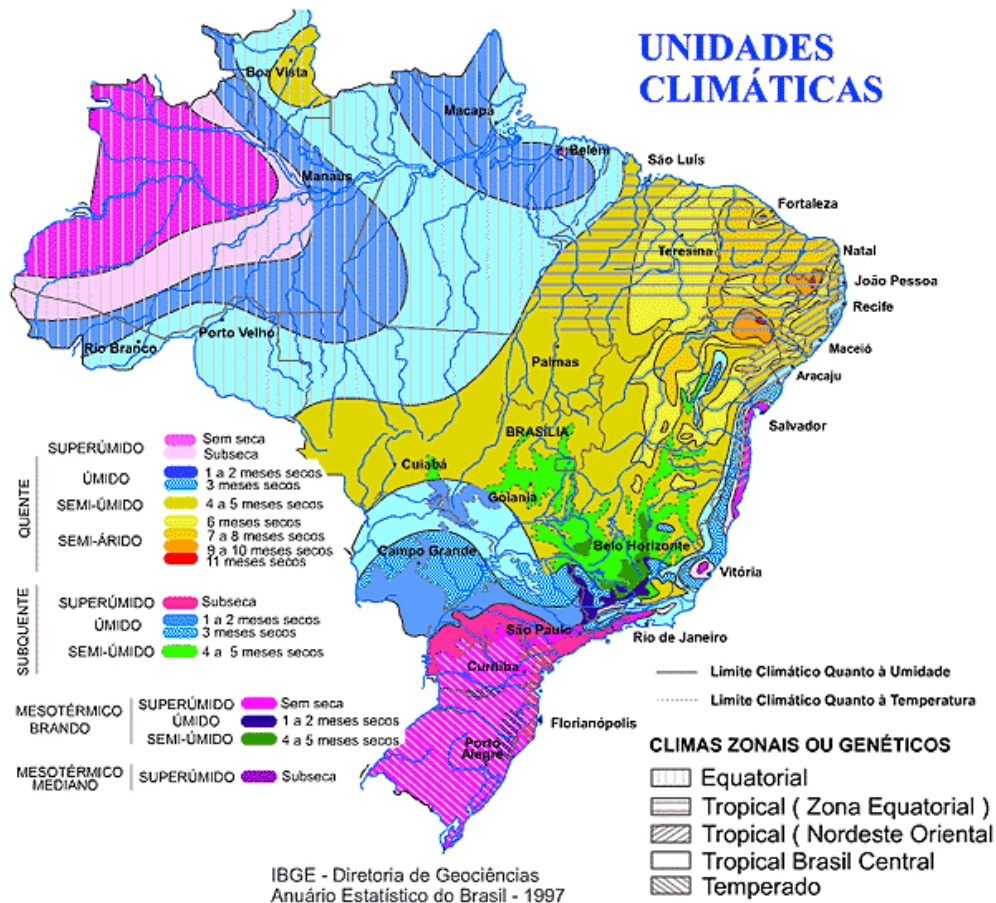


Fig. 3: Mapa dos climas do Brasil.

Fonte: IBGE, 2009.

De acordo com o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul de 2009, elaborado pela SEPLAG-RS, o clima do Rio Grande do Sul é temperado do tipo subtropical, classificado como mesotérmico úmido. Devido à sua posição geográfica, entre os paralelos 27°03'42" e 33°45'09" latitude sul, e 49°42'41" e 57°40'57" longitude oeste, apresenta grandes diferenças em relação ao Brasil. A latitude reforça as influências das massas de ar oriundas da região polar e da área tropical continental e Atlântica. A movimentação e os encontros destas massas definem muitas das características climáticas do Estado.

Neste Atlas consta ainda que com relação às precipitações, o Estado apresenta uma distribuição relativamente equilibrada das chuvas ao longo de todo o ano, em decorrência das massas de ar oceânicas que penetram no Estado. As temperaturas apresentam grande variação sazonal, com verões quentes e invernos bastante rigorosos, com a ocorrência de geada e precipitação eventual de neve. As temperaturas médias variam entre 15 e 18°C (Figura 4), com mínimas de até -10°C e máximas de 40°C.

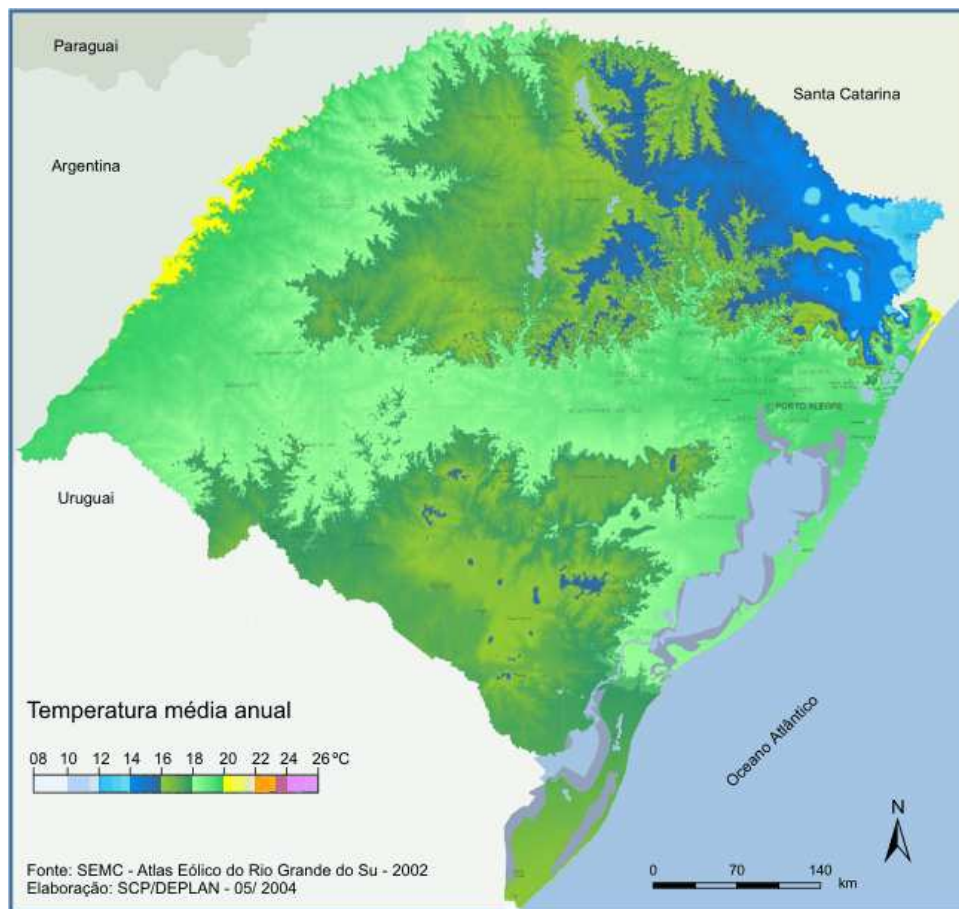


Fig. 4: Temperatura média anual do RS.

Fonte: SEPLAG-RS, 2009.

2.3.2 Variáveis humanas

Estas variáveis dizem respeito ao ser humano quanto a sua percepção de conforto térmico, que é um aspecto subjetivo. Lamberts, Dutra & Pereira (1997) afirmam que “se o balanço térmico de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a

temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico”. Os autores prosseguem afirmando que a sensação de conforto térmico depende das variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa e velocidade do ar), da atividade física e da vestimenta.

2.3.3 Variáveis arquitetônicas

Dentre as variáveis arquitetônicas existentes são destacadas por Lamberts, Dutra & Pereira (1997):

- Fechamentos opacos – todos os fechamentos opacos (paredes, pisos, tetos) podem ser fontes de ganhos ou perdas térmicas entre os meios exterior e interior. Como o foco desta pesquisa está em estudar trocas de calor em fechamentos opacos, mais especificamente em paredes, aprofunda-se este assunto em seção própria.
- Fechamentos transparentes – os fechamentos transparentes (janelas, clarabóias) ganham calor por insolação e podem ser fontes de trocas entre meios externo e interno.
- Iluminação artificial – a iluminação artificial (através de lâmpadas, luminárias e reatores) também gera calor, que deve ser considerado como integrante da carga térmica.
- Outras fontes de calor – como computadores, máquinas e outros eletrodomésticos e demais equipamentos que podem gerar calor no ambiente.
- Infiltração e renovação – as condições de temperatura e umidade do ar externo podem significar um acréscimo considerável na carga térmica do ambiente seja por infiltração ou renovação de ar, principalmente se forem muito diferentes das condições do ar interno.
- Geometria dos ambientes.

2.4 Fechamentos opacos – Paredes

2.4.1 Inércia térmica

A inércia térmica é, de acordo com Lamberts, Dutra & Pereira (1997), outra característica importante dos fechamentos opacos. Os fechamentos absorvem calor tanto do exterior quanto do interior, dependendo de onde o ar tem a maior temperatura. Desta forma ao conduzir o calor para o outro extremo, o material retém uma parte no seu interior, devido a sua massa térmica. Quanto maior a massa térmica, maior o calor retido, e este pode ser restituído ao interior quando a temperatura do ar for menor que a da superfície (aquecimento solar passivo).

Como afirma Papst (1999 apud Yannas & Maldonado, 1995, p. 8):

Uma edificação com pouca inércia segue muito próxima a variação da temperatura externa, e com uma inércia infinita, a temperatura interna permaneceria constante. A necessidade de grande inércia térmica aumenta quanto maior a variação da temperatura externa, radiação solar e ou ganhos de calor. A razão entre o calor absorvido e o calor armazenado nos materiais da edificação dependem da capacidade térmica do material que compõe a envolvente. A capacidade térmica por unidade de superfície é o produto da densidade pela espessura e pelo calor específico dos seus componentes.

Em climas frios (como o inverno do RS) para promover o aquecimento, através do uso da massa térmica, pode-se construir fechamentos opacos mais espessos e diminuir a área de aberturas (com boa vedação), orientando-as para o sol. Embora o ar externo esteja a uma temperatura muito baixa, a insolação direta pode aquecer consideravelmente as paredes da edificação. Já em climas quentes (como o verão gaúcho), a massa térmica pode ser usada para resfriar o ambiente interior, através do adequado sombreamento das aberturas e evitando-se a ventilação diurna (que pode aumentar a temperatura interna ao trazer ar quente do exterior). À noite, deve-se permitir a ventilação seletiva, para retirar o calor acumulado durante o dia e garantir temperaturas internas mais baixas no dia seguinte (LAMBERTS, DUTRA & PEREIRA, 1997).

Para conseguir-se um bom condicionamento térmico passivo nas edificações do Estado não basta apenas um bom projeto, que estipule paredes mais espessas e proteções eficazes nas aberturas, mas também deve haver uma explicação de como utilizar as tecnologias empregadas na construção (ventilação noturna seletiva, por exemplo) por parte dos arquitetos e engenheiros para com os usuários das edificações, através de um manual de instruções da edificação.

2.4.2 Isolamento térmico

Isolantes são materiais de baixo coeficiente de condutividade k . Os materiais isolantes são geralmente materiais porosos cuja elevada resistência térmica se baseia na baixa condutividade do ar contido em seus vazios. (COSTA, 1974).

Conforme a ESTT-IPT (2009), para aumentar-se a resistência térmica das paredes é necessário proceder a um adequado isolamento térmico da mesma, o que pode ser conseguido adicionando-se uma camada de material isolante, impedindo assim que o calor atravesse a envolvente do interior para o exterior durante o inverno, e do exterior para o interior durante o verão. Para este efeito utilizam-se os isolamentos térmicos (lã de vidro, poliestireno, poliuretano, vermiculite, cortiça, lã de rocha, etc.). Os materiais isolantes, dependendo do caso, podem ser utilizados sob a forma de espumas, de painéis rígidos, de almofadas ou feltros.

O desempenho de um isolamento térmico é avaliado de acordo com a resistência térmica que ele propicia à passagem de calor. É um valor que pode ser medido em laboratório através de ensaios específicos - forma mais usual para a especificação de isolantes em projetos (GASPARINI, 2005).

A seguir são apresentadas algumas informações a respeito do isolante poliestireno expandido, bem como algumas alternativas construtivas utilizando-se deste material.

a) Poliestireno expandido

Dentre os inúmeros materiais utilizados como isolantes térmicos, o poliestireno expandido ou *expanded polystyrene* (EPS) é amplamente utilizado na construção, principalmente na Europa (em 2000 das 2,95 milhões de toneladas produzidas de EPS, 40% foram neste continente – Figura 5), conforme se pode notar pela Figura 6.

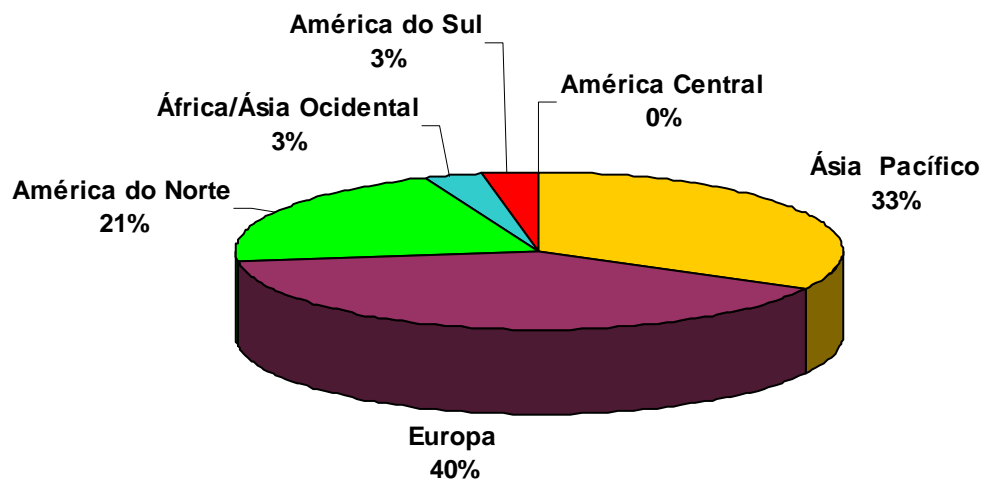


Fig. 5: Produção mundial de EPS em 2000.

Fonte: Adaptado de ABRAPEX, 2009.

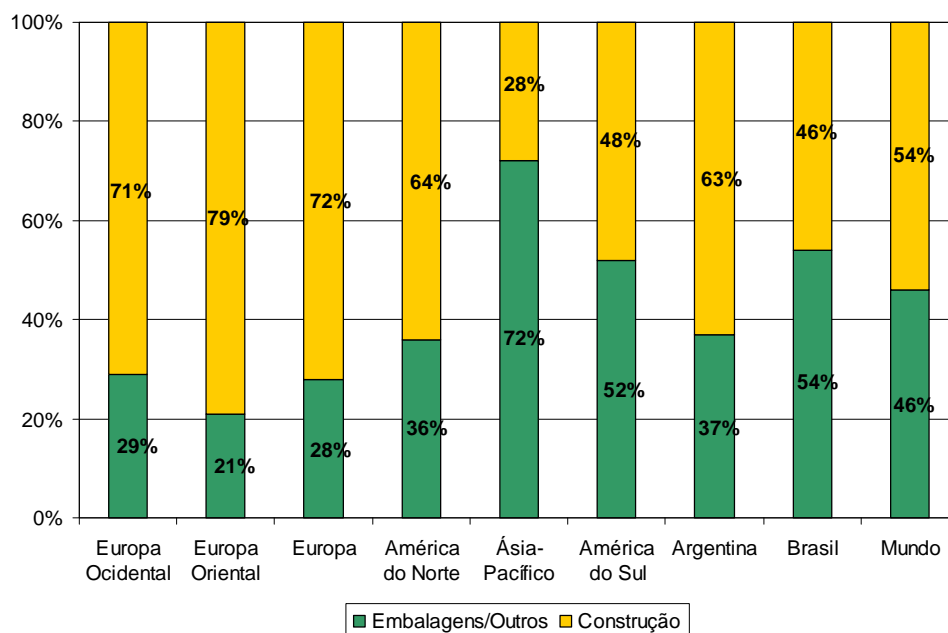


Fig. 6: Distribuição mundial de EPS por setor em 2000.

Fonte: Adaptado de ABRAPEX, 2009.

De acordo com a ABRAPEX (2009), no Brasil o EPS é mais conhecido como Isopor® (marca registrada da Knauf Isopor Ltda) e é produzido em duas versões: Classe P (não retardante à chama) e Classe F (retardante à chama).

A ABRAPEX (2009) caracteriza o poliestireno como sendo um material plástico na forma de espuma com microcélulas fechadas, composto basicamente de 2% de poliestireno e 98% de vazios contendo ar, na cor branca, inodoro, reciclável, reaproveitável, não poluente, fisicamente estável em temperaturas que variam de -70°C a 80°C.

Conforme a ACEPE (2009), o poliestireno apesar de ser obtido do petróleo (0,1% do consumo mundial de petróleo é utilizado para a produção de EPS) é considerado um produto ambientalmente benigno que utiliza de maneira eficiente os recursos naturais, pelo simples motivo apresentado no seguinte exemplo: uma habitação isolada com placas de EPS pode poupar combustível para aquecimento (ao longo de uma vida útil de 50 anos) numa quantidade equivalente de petróleo 150 vezes superior a necessária para a produção destas placas isolantes.

A NBR 11752 apud APRAPEX (2009) estabelece as características exigíveis para o EPS (Tabela 2).

Tabela 2 – Características exigíveis para o EPS.

Propriedades	Método De Ensaio	Unidade	Classe P			Classe F		
			I	II	III	I	II	III
Tipo de Material								
Massa específica aparente	NBR 11949	Kgm ³	13-16	16-20	20-25	13-16	16-20	20-25
Resistência à compressão com 10% de deformação	NBR 8082	KPa	≥60	≥70	≥100	≥60	≥70	≥100
Resistência à flexão	ASTM C-203	KPa	≥150	≥190	≥240	≥150	≥190	≥240
Absorção de água-Imersão em água	NBR 7973	g/cm ² x100	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
Permeabilidade ao vapor d'água	NBR 8081	ng/Pa.s.m	≤7	≤5	≤5	≤7	≤5	≤5
Coefficiente de condutividade térmica a 23°C	NBR12904	W/m.K	0,042	0,039	0,037	0,042	0,039	0,037
Flamabilidade	NBR 1949		Material não retardante a chama			Material retardante a chama		

Fonte: Adaptado de APRAPEX, 2009.

b) Isolamento pelo exterior e isolamento pelo interior

Segundo a ABRAPEX (2009) geralmente o isolamento térmico é aplicado onde as variações de temperatura são mais intensas, dependendo do clima do local. A figura 7 apresenta as alternativas de isolamento térmico recomendadas pela ABRAPEX.

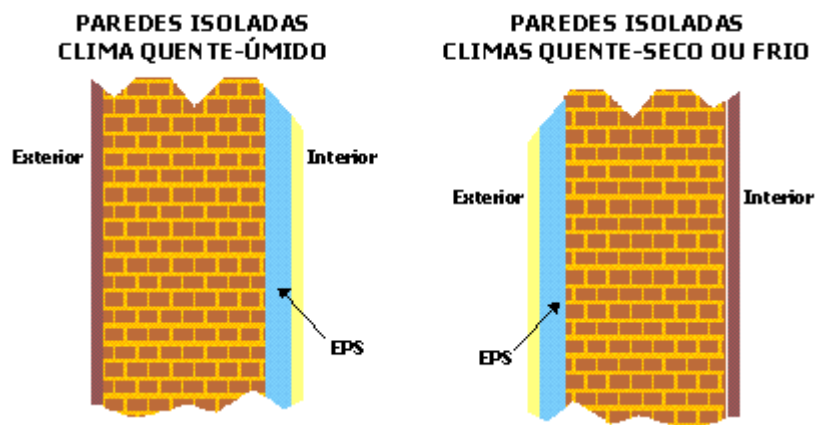


Fig. 7: Alternativas de isolamento térmico por climas.

Fonte: ABRAPEX, 2009.

c) Isolamento em parede dupla

De acordo com a AREAM-URE (2009) nas paredes duplas o isolamento deve ser colocado na caixa de ar junto do pano interior, deixando-se um espaço de ar junto ao pano exterior da parede, que tem por função contribuir para a evaporação de umidades, provenientes de condensações e infiltrações, que podem eventualmente existir nesse espaço. A Figura 8 mostra um esquema simplificado de isolamento em parede dupla.

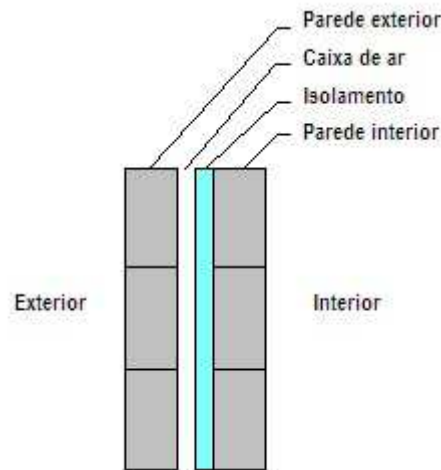


Fig. 8: Isolamento em parede dupla.

Fonte: AREAM-URE, 2009.

d) Isolamento de câmaras frigoríficas

No caso particular de câmaras frigoríficas, de acordo com Costa (1974), onde as possibilidades de condensação são grandes, em virtude das enormes diferenças de pressão de vapor que surgem, o material isolante é colocado normalmente do lado frio da parede (interior da edificação).

2.4.3 Implicações construtivas

Segundo a ESTT-IPT (2009) a transmitância térmica total (U) de uma parede de edificação pode ser diminuída, aumentando-se a sua espessura. Contudo a tendência atual é contrária a este princípio, porque as pequenas espessuras de paredes permitem obter espaços interiores de maiores dimensões, a um custo inferior, embora com prejuízo da inércia térmica da envolvente do edifício, que é um fator importante durante o período de verão e de inverno com uma utilização racional de energia.

Desta forma, para diminuir o valor de U existem soluções construtivas que empregam materiais de baixa condutibilidade térmica (isolantes térmicos) e/ou interpõem uma lâmina de ar (caixa de ar) entre duas fiadas - a caixa de ar é tanto mais eficiente quanto menor for a sua espessura, de modo a evitar movimentos de convecção do ar no seu interior. Na Tabela 3 consta uma comparação dos valores de transmitância térmica entre diferentes soluções construtivas. Cabe salientar ainda que o tijolo furado é termicamente mais eficiente do que o tijolo maciço, sendo este mais eficiente do que o concreto (ESTT-IPT, 2009).

Tabela 3 – Valores de transmitância térmica (U) em diferentes soluções construtivas.

Parede de tijolo maciço			
Arranjo	espessura (cm)	espessura total (cm)	U (W/m².°C)
Uma fiada	22	22	2,25
Duas fiadas + lâmina de ar	11+3+11	25	1,65
Duas fiadas + lã de vidro	11+6+11	28	0,45

Fonte: Adaptado de ESTT – IPT, 2009.

3. METODOLOGIA

3.1 Classificação da Pesquisa

Estudo de ordem quantitativa, pois faz uso de dados numéricos da simulação e da prática (experimento) para posterior análise.

3.2 Planejamento da Pesquisa

Para atingir os objetivos desta pesquisa planejou-se a realização de três grandes atividades:

3.2.1 Desenvolvimento de um equipamento (câmara térmica)

A Figura 9 mostra o projeto da câmara térmica. A câmara tem como dimensões internas 60x40x40 cm, sendo que uma das faces de 40x40 cm é vazada. Os materiais utilizados para a confecção da câmara térmica foram: madeira compensada, poliestireno expandido de 50 mm, papel laminado, uma lâmpada usada para secagem de solos, um *dimmer* e ferragens. A madeira compensada é a casca da câmara, sendo toda parafusada; o interior é revestido pelo poliestireno expandido e forrado com papel laminado. A Figura 10 apresenta o processo de confecção da câmara (as setas indicam o sentido do encaixe).

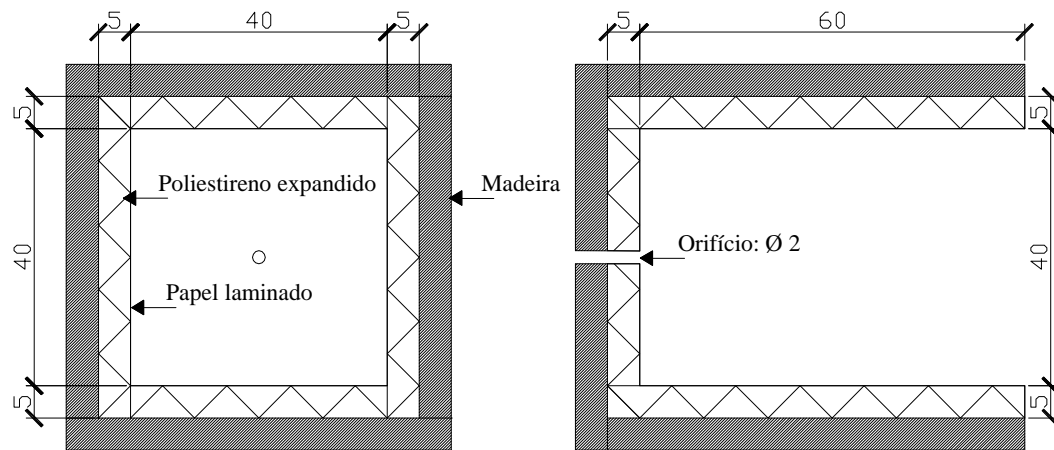


Fig. 9: Cortes esquemáticos da câmara térmica (unidades em cm).

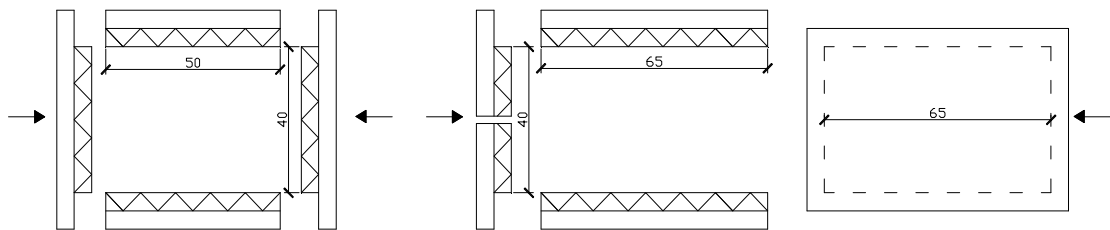


Fig. 10: Esquema de confecção da câmara térmica (unidades em cm).

Pelo orifício deixado em uma das faces da câmara térmica foi inserido um tripé com uma lâmpada (OSRAM de 250 W) que é a fonte de calor. A intensidade luminosa é controlada por um *dimmer*. A Figura 11 apresenta a câmara térmica já construída.

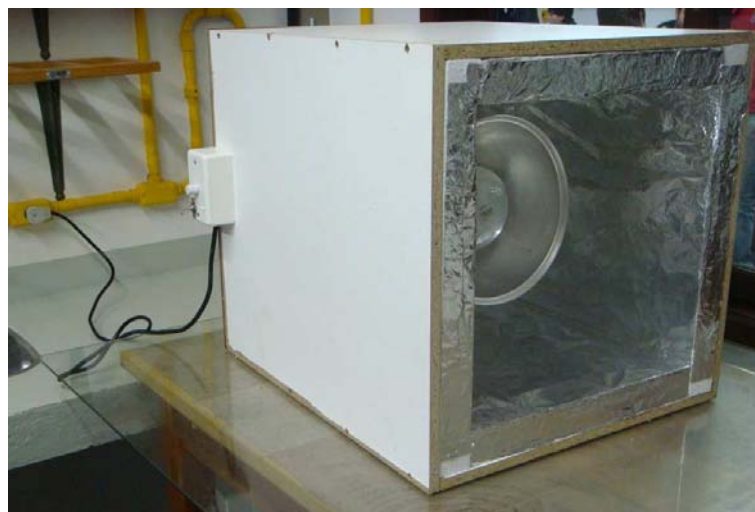


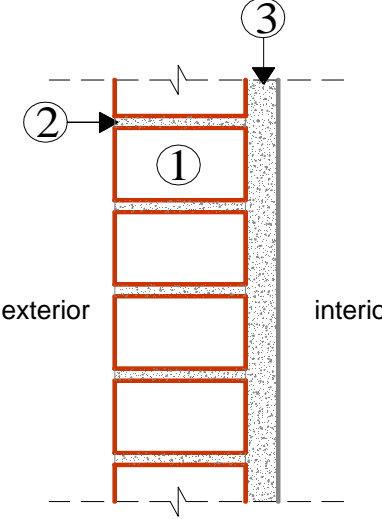
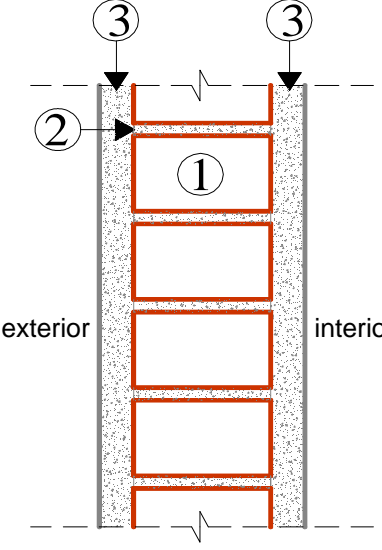
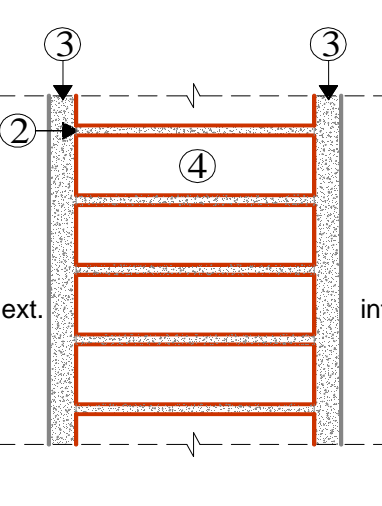
Fig. 11: Câmara térmica.

3.2.2 Realização dos ensaios laboratoriais

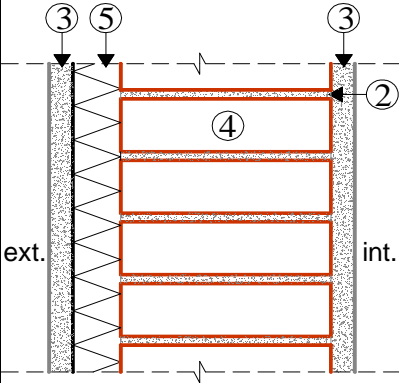
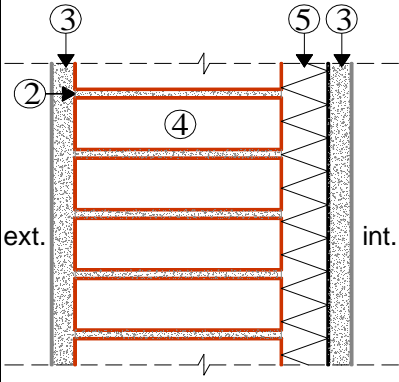
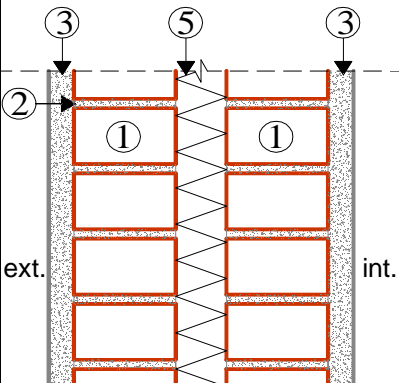
Com a finalidade de determinar o comportamento térmico de algumas configurações de paredes em alvenaria (alguma usuais na região) foram elencadas 8 configurações de paredes, conforme Quadro 1, Quadro 2 e Quadro 3. Essas estruturas foram construídas em laboratório seguindo procedimentos usuais amplamente divulgados na literatura. Cabe destacar que é importante manter um bom alinhamento vertical das paredes (prumo), desta forma garantindo a mesma distância entre a lâmpada e cada parede;

3.2.3 Implementação da modelagem matemática

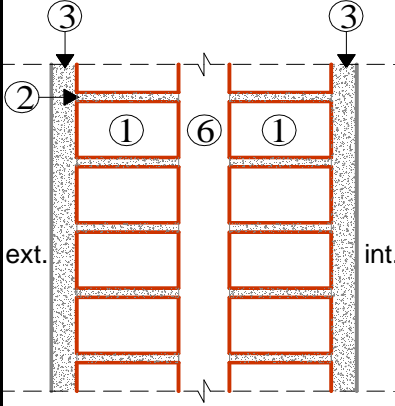
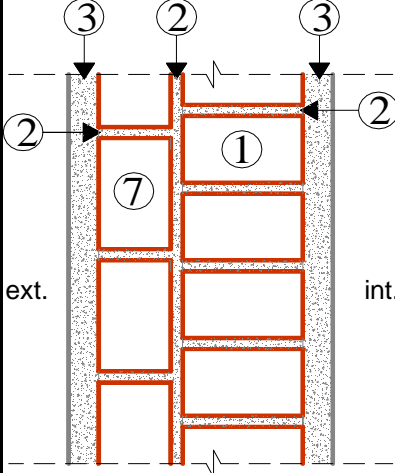
Através dos dados experimentais de temperatura ao longo do tempo, buscou-se um modelo matemático que fosse capaz de descrever de maneira satisfatória esse comportamento térmico. Tal modelo encontra-se apresentado na seção 3.5.

Identificação/Descrição	Ilustração
<p style="text-align: center;">PAREDE 1</p> <p>Parede de tijolos maciços aparentes, assentados na dimensão de 10 cm, com revestimento interno</p> <p>Dimensões do tijolo (1): 10,5x6x23 cm</p> <p>Espessura argamassa de assentamento (2): 1 cm</p> <p>Espessura argamassa de revestimento (3): 2,5 cm</p> <p>Espessura total da parede: 13 cm</p>	 <p>exterior interior</p>
<p style="text-align: center;">PAREDE 2</p> <p>Parede de tijolos maciços, assentados na dimensão de 10 cm, com revestimento externo e interno</p> <p>Dimensões do tijolo (1): 10x6x23 cm</p> <p>Espessura argamassa de assentamento (2): 1 cm</p> <p>Espessura argamassa de revestimento (3): 2,5 cm</p> <p>Espessura total da parede: 15 cm</p>	 <p>exterior interior</p>
<p style="text-align: center;">PAREDE 3</p> <p>Parede de tijolos maciços, assentados na dimensão de 22 cm, com revestimento externo e interno</p> <p>Dimensões do tijolo (4): 23x6x10 cm</p> <p>Espessura argamassa de assentamento (2): 1 cm</p> <p>Espessura argamassa de revestimento (3): 2,5 cm</p> <p>Espessura total da parede: 28 cm</p>	 <p>ext. int.</p>

Quadro 1 - Configurações das paredes 1 a 3.

Identificação/Descrição	Ilustração
<p align="center">PAREDE 4</p> <p>Parede de tijolos maciços, assentados na dimensão de 22 cm, com isolamento externo e com revestimento externo e interno</p> <p>Dimensões do tijolo (4): 23x6x10 cm</p> <p>Espessura argamassa de assentamento (2): 1 cm</p> <p>Espessura argamassa de revestimento (3): 2,5 cm</p> <p>Espessura isolante térmico (5): 5 cm</p> <p>Espessura total da parede: 33 cm</p>	
<p align="center">PAREDE 5</p> <p>Parede de tijolos maciços, assentados na dimensão de 22 cm, com isolamento interno e com revestimento externo e interno</p> <p>Dimensões do tijolo (4): 23x6x10 cm</p> <p>Espessura argamassa de assentamento (2): 1 cm</p> <p>Espessura argamassa de revestimento (3): 2,5 cm</p> <p>Espessura isolante térmico (5): 5 cm</p> <p>Espessura total da parede: 33 cm</p>	
<p align="center">PAREDE 6</p> <p>Parede dupla de tijolos maciços, assentados na dimensão de 10 cm, com isolamento térmico e com revestimento externo e interno</p> <p>Dimensões do tijolo (1): 11,5x6x23 cm</p> <p>Espessura argamassa de assentamento (2): 1 cm</p> <p>Espessura argamassa de revestimento (3): 2,5 cm</p> <p>Espessura isolante térmico (5): 5,5 cm</p> <p>Espessura total da parede: 33,5 cm</p>	

Quadro 2 - Configurações das paredes 4 a 6.

Identificação/Descrição	Ilustração
<p align="center">PAREDE 7</p> <p>Parede dupla de tijolos maciços, assentados na dimensão de 10 cm, com espaço de ar e com revestimento externo e interno</p> <p>Dimensões do tijolo (1): 11,5x6x23 cm</p> <p>Espessura argamassa de assentamento (2): 1 cm</p> <p>Espessura argamassa de revestimento (3): 2,5 cm</p> <p>Espessura espaço de ar (6): 5,5 cm</p> <p>Espessura total da parede: 33,5 cm</p>	
<p align="center">PAREDE 8</p> <p>Parede dupla de tijolos maciços, sendo a primeira fiada assentada na dimensão de 6 cm e a segunda fiada assentada na dimensão de 10 cm, com revestimento externo e interno</p> <p>Dimensões do tijolo (7): 6,5x10x23 cm</p> <p>Dimensões do tijolo (1): 10x6x23 cm</p> <p>Espessura argamassa de assentamento (2): 1 cm</p> <p>Espessura argamassa de revestimento (3): 2,5 cm</p> <p>Espessura total da parede: 21,5 cm</p>	

Quadro 3 - Configurações das paredes 7 e 8.

3.3 Materiais utilizados para a construção das paredes

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram os usualmente empregados em construções em Ijuí-RS, ou seja, são os materiais disponíveis no comércio da região.

3.3.1 Cimento

O cimento utilizado foi o cimento Portland CP II-E-32, que é um material de origem industrial tendo suas características preconizadas pela NBR 11578/1991 (Tabela 4).

Tabela 4 – Exigências do cimento Portland CP II-E-32.

Características e propriedades		Unidade	Cimento CP II-E-32
Finura	Resíduo na peneira 75 µm	%	≤ 12
	Área específica	m ² /kg	≥ 260
Tempo de início de pega		h	≥ 1
Expansibilidade a quente		mm	≤ 5
Resistência à compressão	3 dias de idade	MPa	≥ 10
	7 dias de idade	MPa	≥ 20
	28 dias de idade	MPa	≥ 32

Fonte: Adaptado da Tabela 3 da NBR 11578, 1991.

3.3.2 Cal

A cal utilizada foi a cal hidratada CH-II que tem suas exigências regidas pela NBR 7175/1992 (Tabela 5).

Tabela 5 – Exigências da cal hidratada CH-II.

Determinações		Limites da cal CH-II
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0,600 mm (nº 30)	≤ 0,50%
	Peneira 0,075 mm (nº 200)	≤ 15%
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias
Retenção de água		≥ 80%
Plasticidade		≥ 110
Incorporação de areia		≥ 2,5

Fonte: Adaptado da Tabela 2 da NBR 7175, 1992.

3.3.3 Areia

Para a areia foram realizados ensaios no LEC para caracterização do material. Realizou-se o ensaio de composição granulométrica segundo a NBR 7217 (Tabela 6 e Figura 12).

Tabela 6 – Resultado do ensaio de granulometria da areia.

Peneiras		% Retida Média	% Retida Acumulada
nº	mm		
3/8"	9,5	0	-
1/4"	6,3	0	-
4	4,8	0,03	0,03
8	2,4	0,52	0,55
16	1,2	3,08	3,63
30	0,6	22,01	25,64
50	0,3	52,15	77,79
100	0,15	18,14	95,93
Fundo	<0,15	4,07	-
Total		100	203,57
Módulo de Finura:		2,036%	
Diâmetro Máximo:		1,2 mm	

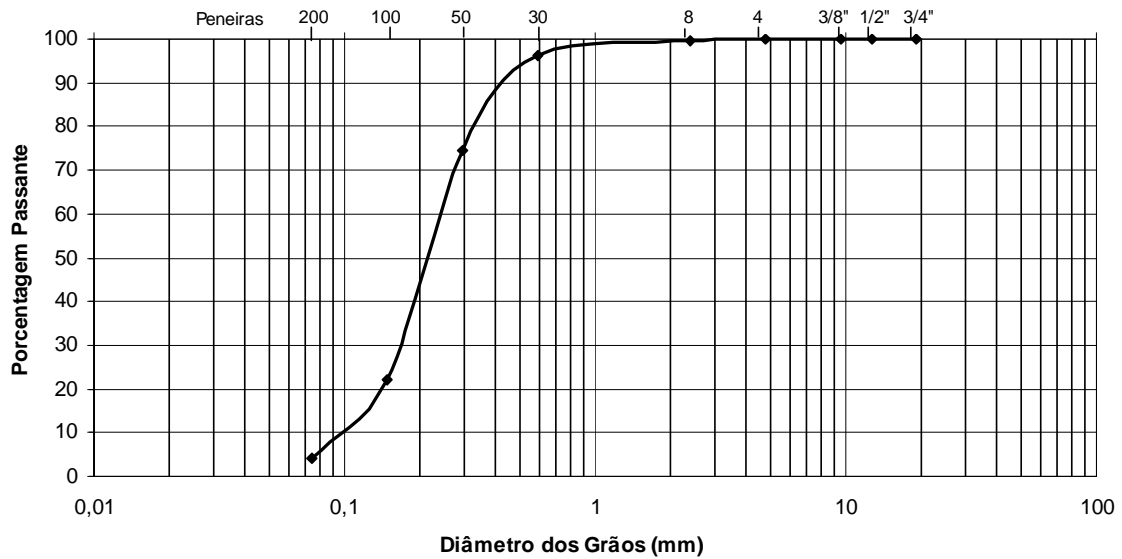


Fig. 12: Curva granulométrica da areia.

O ensaio de massa específica aparente foi realizado segundo a NBR 9776 (Tabela 7). Também fez-se o ensaio, conforme a NBR 7251, de massa unitária solta (Tabela 8).

Tabela 7 – Resultado do ensaio de massa específica aparente da areia.

Massa Específica Aparente - Chapman - NBR 9776		
Leitura Final (cm ³)	Leitura Média (cm ³)	M.E.A. (g/cm ³)
391	390,75	2,621
390,5		

Tabela 8 – Resultado do ensaio de massa unitária solta da areia.

Massa Unitária Solta - NBR 7251		
Peso Líquido (kg)	Peso Médio (kg)	M.U Média (kg/dm ³)
29,85	30,267	1,513
30,57		
30,38		
Volume:	20 dm ³	

3.3.4 Tijolo maciço

Para o tijolo maciço foram realizados ensaios no LEC para caracterização do material. Realizaram-se os ensaios de: absorção de água segundo a NBR 8492 (Tabela 9); formas e dimensões conforme NBR 8041 (Tabela 10); resistência à compressão de acordo com a NBR 6460 (Tabela 11); massa específica aparente (Tabela 12).

Tabela 9 – Resultado do ensaio de absorção de água do tijolo.

Nº CP	% AA
1	18,28
2	18,29
3	18,06
4	17,20
5	16,82
6	15,93
7	19,18
8	18,18
9	16,75
10	17,60
11	18,46
12	14,35
13	14,20
% AA Média	17,18
Desvio Padrão	1,205
Coef. de Variação (%)	7,016

Tabela 10 – Resultado do ensaio de formas e dimensões do tijolo.

Dimensão	24 Tijolos	Média (Unidade)
Comprimento (mm)	5650	235
Largura (mm)	2730	114
Altura (mm)	1310	55

Tabela 11 – Resultado do ensaio de resistência à compressão do tijolo.

Nº CP	Resistência à compressão (MPa)
1	9,54
2	8,12
3	17,40
4	22,32
5	9,81
6	4,09
7	6,02
8	12,83
9	12,00
10	6,61
11	19,50
12	12,24
13	5,32
RC Médio (MPa):	11,22
Desvio Padrão (MPa)	4,463
Coef. de Variação (%)	39,787

Tabela 12 – Resultado do ensaio de massa específica aparente do tijolo.

Nº CP	Massa Específica Aparente (g/cm ³)
1	1,731
2	1,609
3	1,430
4	1,553
5	1,684
6	1,622
7	1,769
8	1,673
9	1,533
10	1,495
11	1,712
12	1,661
13	1,524
M. E. A. Média (g/cm ³)	1,615
Desvio Padrão (g/cm ³)	0,084
Coef. de Variação (%)	5,213

3.3.5 Poliestireno expandido

O EPS utilizado possui espessura de 50 mm. Realizou-se o ensaio de massa específica aparente média (Tabela 13).

Tabela 13 – Resultado do ensaio de massa específica aparente do EPS.

CP	Massa Específica Aparente (g/cm ³)
1	0,0102
2	0,0106
3	0,0106
Média (g/cm ³)	0,0105
Desvio Padrão (g/cm ³)	0,0002
Coef. de Variação (%)	1,593

3.3.6 Argamassa de assentamento

O traço da argamassa de assentamento foi de 1:6 (1 de cimento e 6 de areia). Utilizou-se aditivo incorporador de ar DAREX AEA (Grace Brasil Ltda.) para melhorar a trabalhabilidade da argamassa. A espessura da argamassa de assentamento foi de 1 cm.

Realizou-se o ensaio de massa específica aparente e o ensaio de resistência à compressão da argamassa (Tabela 14).

Tabela 14 – Resultados dos ensaios de massa específica aparente e de resistência da argamassa.

CP	RC (MPa)	MEA (g/cm ³)
1	9,81	1,760
2	9,14	1,768
3	8,35	1,741
4	9,76	1,805
5	8,30	1,781
6	9,23	1,844
7	8,56	1,820
Média	9,02	1,788
Desvio Padrão	0,530	0,030
Coef. de Variação (%)	5,873	1,668

3.3.7 Chapisco

O traço do chapisco utilizado foi de 1:3 (1 de cimento e 3 de areia). Para o chapisco aplicado diretamente sobre o poliestireno expandido (Parede 4 e Parede 5) acrescentou-se à massa um adesivo PVA - Cascorez Extra (Henkel).

3.3.8 Argamassa de revestimento

O traço da argamassa de revestimento foi de 1:1:5 (1 de cimento, 1 de cal e 5 de areia). A espessura da argamassa de revestimento foi de 2,5 cm.

Realizou-se o ensaio de massa específica aparente e o ensaio de resistência à compressão da argamassa (Tabela 15).

Tabela 15 – Resultados dos ensaios de massa específica aparente e de resistência da argamassa.

CP	RC (MPa)	MEA (g/cm ³)
1	6,30	2,053
2	6,62	2,068
3	5,79	2,063
4	6,33	2,073
5	5,88	2,080
6	6,41	2,086
7	6,29	2,088
8	6,18	2,084
9	6,42	2,076
10	6,18	2,090
Média	6,24	2,076
Desvio Padrão	0,186	0,010
Coef. de Variação (%)	2,981	0,460

3.4 Procedimentos experimentais

3.4.1 Calibração dos sensores de temperatura

Para que os dados medidos sejam precisos é necessário calibrar o aparelho de medida de temperatura. A escala do sensor de temperatura utilizado deve coincidir com uma escala conhecida. Assim, para a calibração dos sensores de temperatura utilizados (termômetro digital externo da categoria atmosférica - Figura 13 - possuindo as especificações contidas no Quadro 4) foi usado como referência um termômetro de vidro calibrado pelo Laboratório da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.



Fig. 13: Termômetro utilizado.

Escala de temperatura	-50°C a +70°C
Precisão	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
Resolução	0,1 °C
Dimensões	46 x 26,6 x 15 mm
Comprimento do cabo	1,5 m
Alimentação	duas pilhas AG13
Marca	Incoterm

Quadro 4 - Especificações do termômetro utilizado.

Fonte: Incoterm (2009).

O ensaio para a calibração dos sensores foi realizado no Laboratório de Medidas Físicas para Modelagem Matemática da Unijuí e consistiu em deixar por alguns minutos o conjunto sensores de temperatura + termômetro ao ar livre para que entrassem em equilíbrio térmico. Após entrar em equilíbrio registraram-se as temperaturas (T1). O processo foi repetido colocando o conjunto a uma temperatura constante de 66 °C (T2). Os dados obtidos estão expressos na Tabela 16.

Tabela 16 – Comparação dos sensores de temperatura com termômetro de vidro calibrado.

Sensor	T ₂ (°C)	T ₁ (°C)
TC	17,0	66,0
S ₁	16,1	64,4
S ₂	17,5	66,0
S ₃	16,6	65,2
S ₄	16,3	65,4
S ₅	16,7	65,3
S ₆	16,0	65,2
S ₇	17,3	64,6
S ₈	16,4	65,3
S ₉	16,4	65,2

A calibração foi feita comparando as escalas de medidas do termômetro calibrado com os sensores de temperatura expressa pela equação de correção - Equação (3):

$$S_{(i)} = \frac{TC_1 - TC_2}{S_1^{(i)} - S_2^{(i)}} (T_*^{(i)} - S_2^{(i)}) + TC_2 \quad (3)$$

onde:

$S_{(i)}$: temperatura corrigida registrada pelo sensor ($i = 1, 2, 3, \dots, 9$);

TC_j : temperatura inicial e final registrada pelo termômetro calibrado ($j = 1$ e 2);

$S_j^{(i)}$: temperatura inicial e final obtida pelo sensor ($i = 1, 2, 3, \dots, 9$) e ($j = 1$ e 2);

$T_*^{(i)}$: temperatura registrada pelo sensor no instante t ($i = 1, 2, 3, \dots, 9$).

Substituindo os dados da Tabela 16 na Equação (3) foram obtidas as equações de calibração para cada um dos sensores de temperatura (Tabela 17).

Tabela 17 – Equações de correção dos sensores de temperatura.

Sensor	Equação de Correção
S ₁	$1,014493 (T_*^{(1)}) + 0,666667$
S ₂	$1,010309 (T_*^{(2)}) - 0,680412$
S ₃	$1,008230 (T_*^{(3)}) + 0,263374$
S ₄	$0,997963 (T_*^{(4)}) + 0,733198$
S ₅	$1,008230 (T_*^{(5)}) + 0,162551$
S ₆	$0,995935 (T_*^{(6)}) + 1,065041$
S ₇	$1,035941 (T_*^{(7)}) - 0,921776$
S ₈	$1,002045 (T_*^{(8)}) + 0,566462$
S ₉	$1,004098 (T_*^{(9)}) + 0,532787$

3.4.2 Procedimentos de instrumentação das paredes

Os procedimentos para a preparação (instrumentação da parede) das diferentes configurações de paredes ao ensaio na câmara térmica têm os seguintes passos:

- 1º passo: após a construção das paredes, estas foram envoltas com plástico, para garantir uma adequada cura dos materiais cimentícios, permanecendo assim por 28 dias. Em seguida as paredes foram submetidas a um ciclo de incidência de calor, retirando o excesso de água e com o intuito de normalizar suas umidades.
- 2º passo: realização de cinco furos na parede em estudo, alinhados na mesma posição vertical “y”, distantes uns dos outros de 3 cm na direção “z”, cada um com sua respectiva profundidade na direção “x”. Os furos foram realizados na direção paralela ao fluxo de calor (eixo “x”) e no sentido da face da parede em contato com o ambiente para a fonte de calor. Os furos foram feitos através do uso de uma furadeira utilizando-se de uma broca com $\phi = 10$ mm. A notação dos eixos foi a seguinte: x = espessura/largura da parede; y = altura da parede; z = comprimento da parede.

- 3º passo: limpeza dos furos por aspiração de ar.
- 4º passo: inserção de cinco sensores de temperatura na parede ao longo de sua espessura L (eixo x); inserção de dois sensores de temperatura em ambos os lados da parede, sendo um sensor em $x = 0$ cm e o outro em $x = L$, para medição da temperatura interior e exterior, respectivamente. Assim, totalizando sete sensores de temperatura por parede. Os esquemas de inserção dos sensores e as imagens das paredes já construídas encontram-se nas Figuras 14 a 21. É importante assegurar que os sensores de temperatura nas extremidades das paredes estejam encostados nas faces destas, a fim de evitar que a medição da temperatura seja a do ar próximo a face das paredes, ao invés da temperatura das fronteiras $x = 0$ e $x = L$.

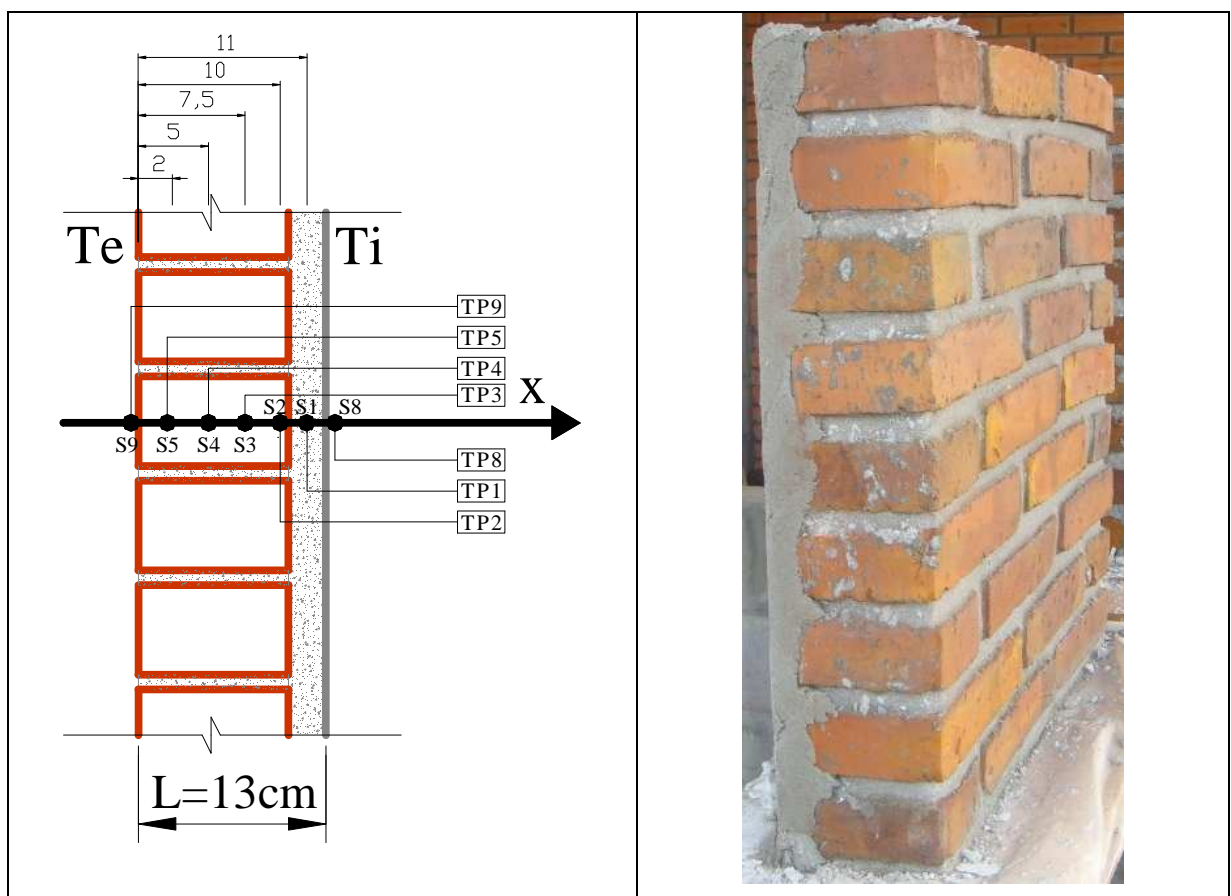


Fig. 14: Parede 1 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.

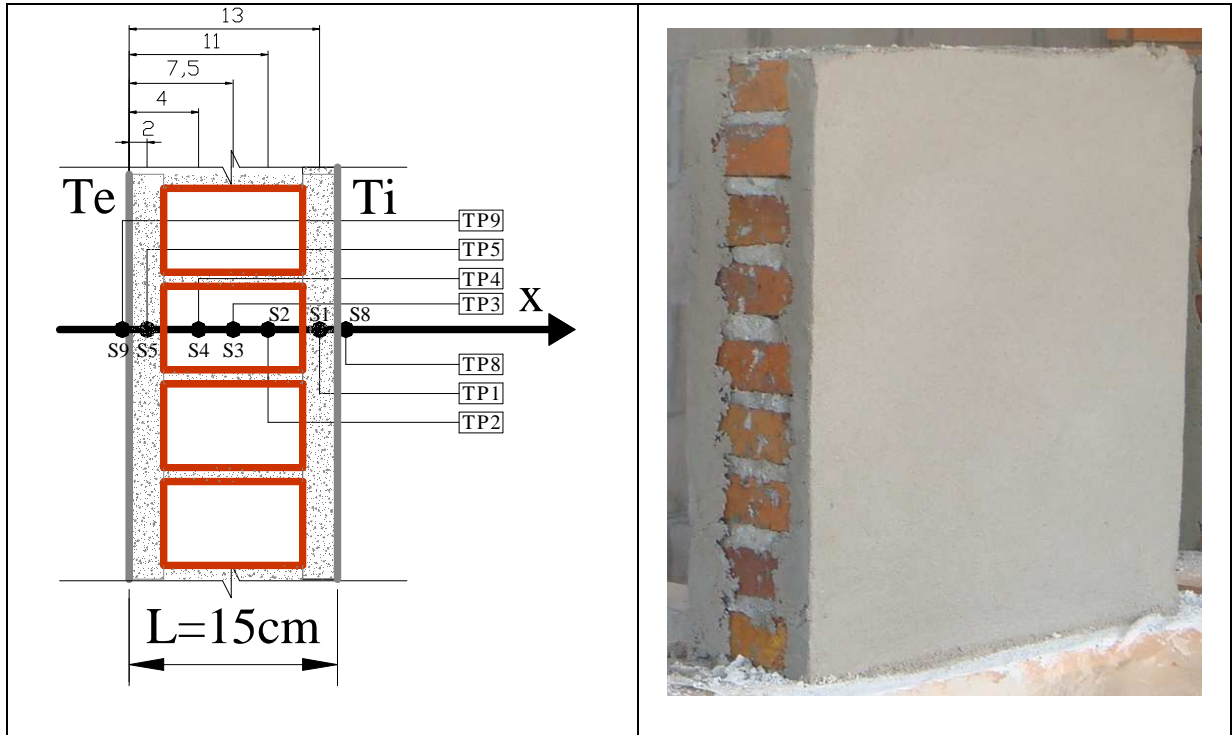


Fig. 15: Parede 2 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.

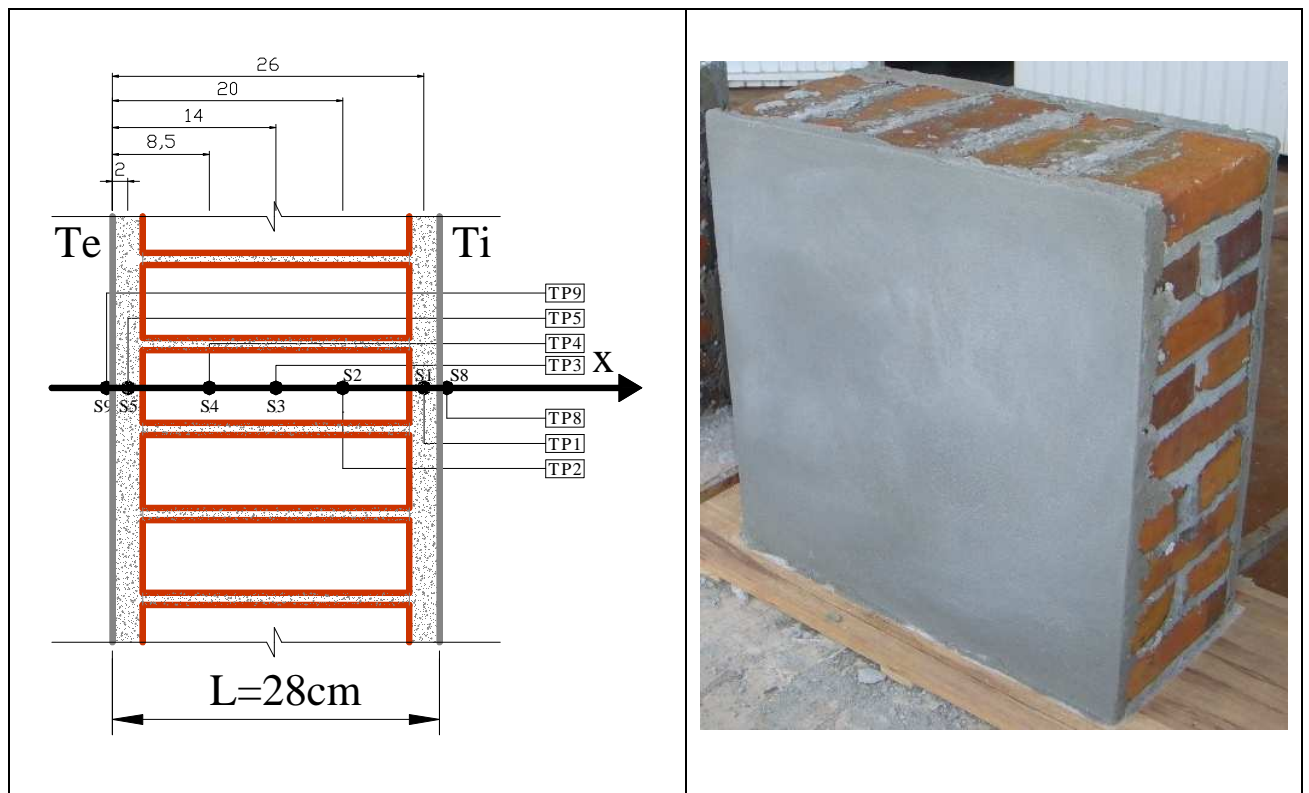


Fig. 16: Parede 3 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.

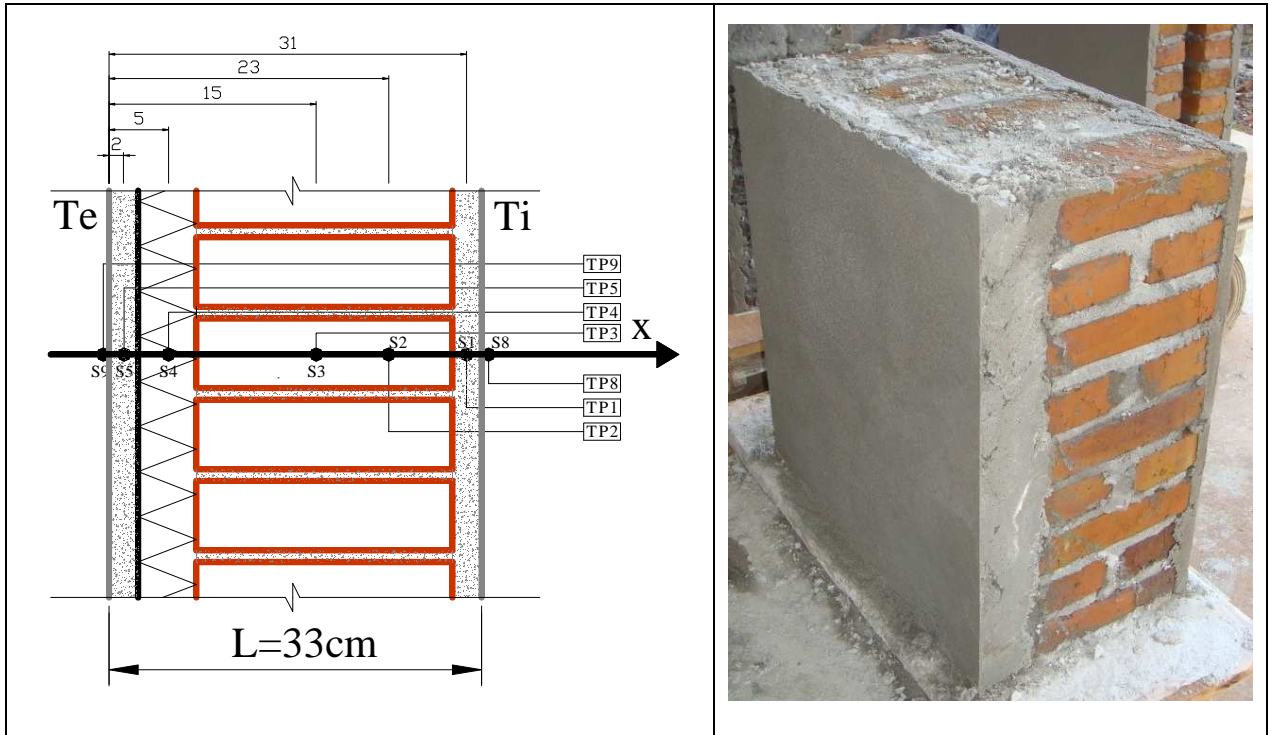


Fig. 17: Parede 4 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.

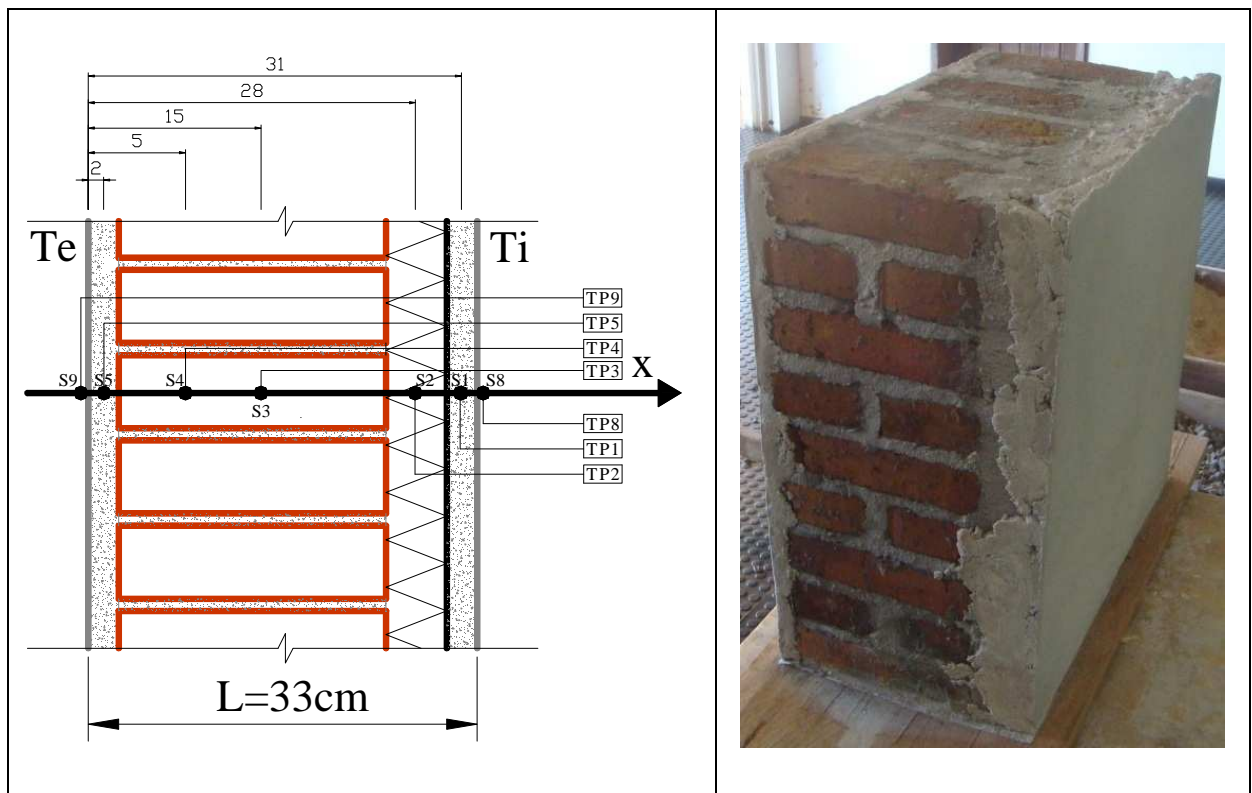


Fig. 18: Parede 5 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.

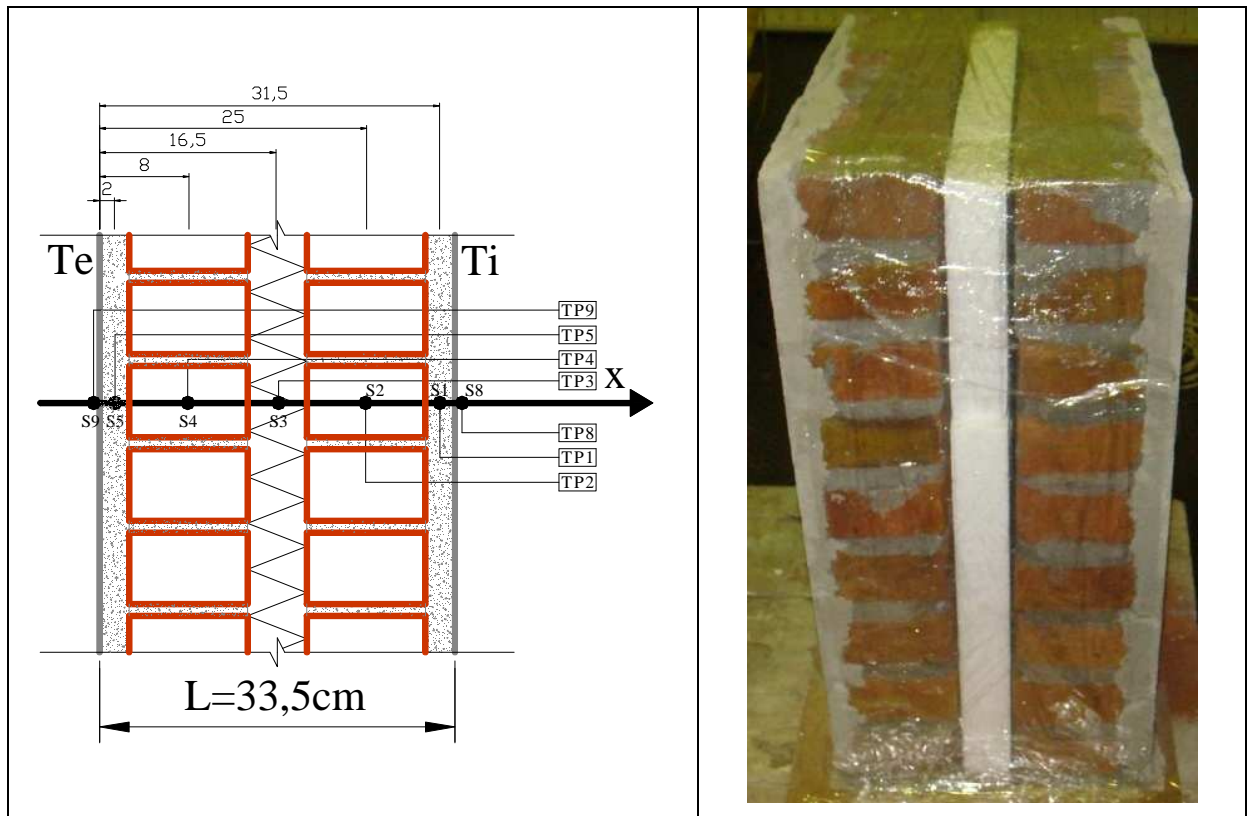


Fig. 19: Parede 6 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.

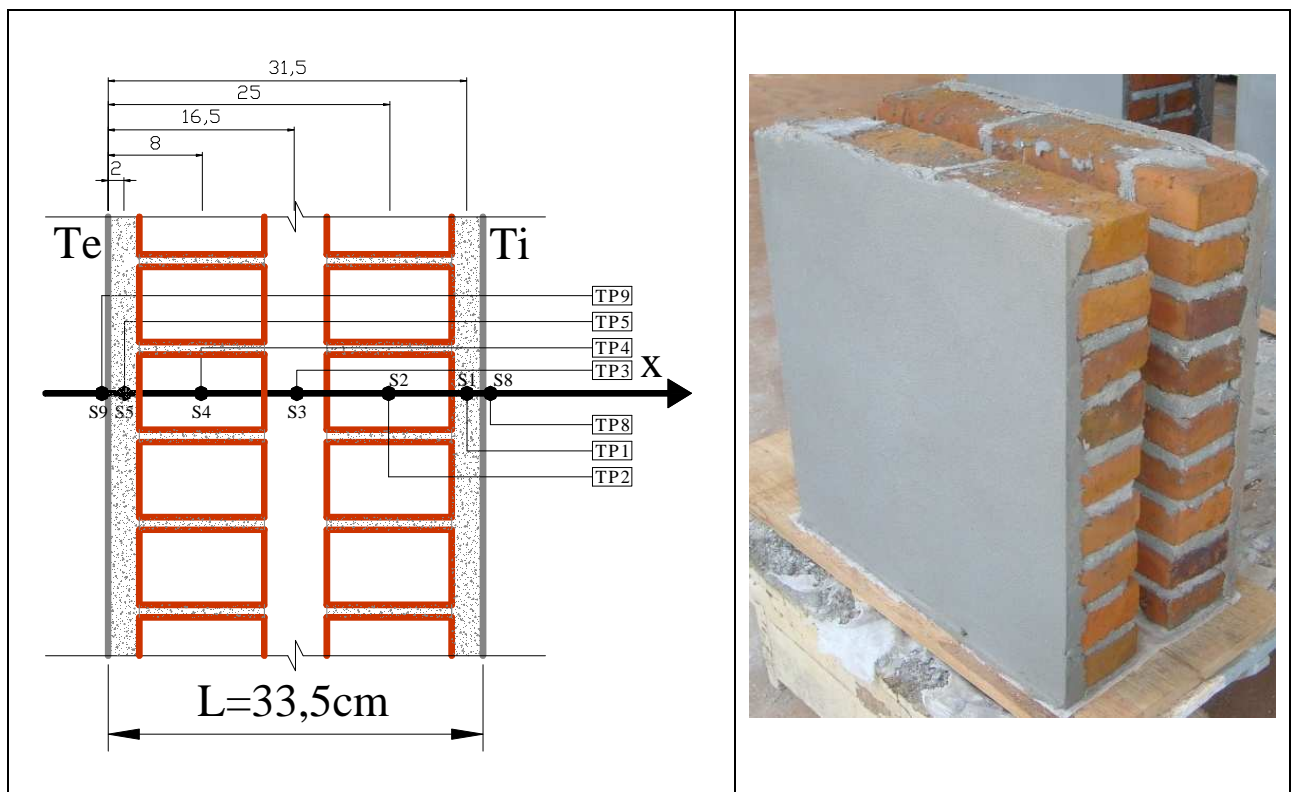


Fig. 20: Parede 7 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.

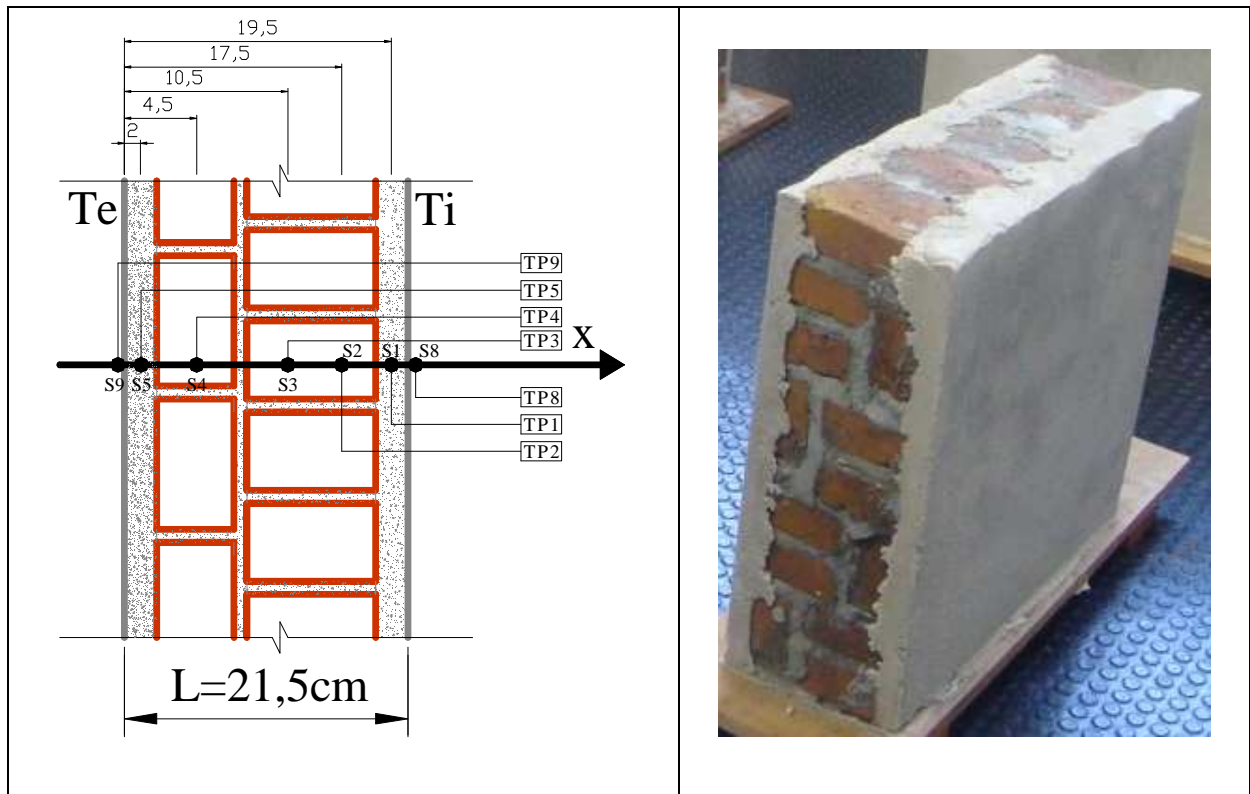


Fig. 21: Parede 8 – Esquema da inserção dos sensores e foto real.

- 5º passo: revestimento das extremidades da parede com placas de poliestireno expandido.

3.4.3 Procedimentos de ensaio

O ensaio na câmara térmica tem os seguintes procedimentos para cada uma das configurações de parede:

- i. Acoplamento da parede em estudo (Figura 22), já devidamente instrumentada com os sensores de temperatura nela inseridos (Figuras 14 a 21), na extremidade aberta da câmara – nesse acoplamento o centro da parede deve coincidir com o centro da lâmpada;

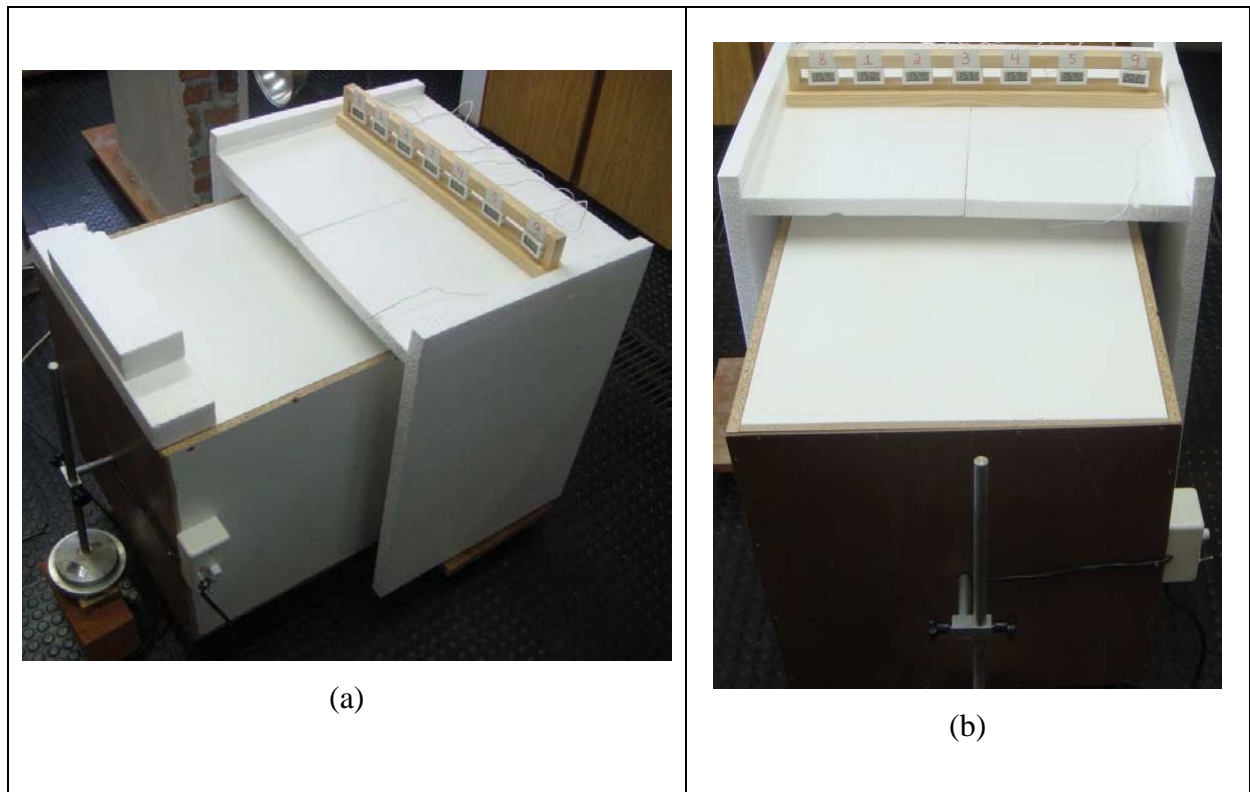


Fig. 22: Acoplamento da parede em estudo à câmara térmica.

a) Vista superior; b) Vista posterior

- ii. Leitura (Figura 23) da temperatura inicial de cada sensor ($t = 0$);



Fig. 23: Leitura das temperaturas dos sensores.

- iii. Acionamento e regulação da fonte de calor em função do tempo, de acordo com a escala de temperatura definida (dividida em 8 estágios de temperatura - Tabela 18), sendo realizadas leituras da temperatura de cada sensor de 30 em 30 minutos, desde o instante inicial ($t = 0$) até o instante final ($t = 16$ horas). Nos momentos de mudança do estágio de temperatura, a leitura da temperatura de cada sensor ocorre imediatamente antes da mudança.

Tabela 18 – Estágios de temperatura do ensaio.

Estágio de temperatura	Tempo (h)	Regulagem - <i>dimmer</i>	Intensidade de calor
1	0	Acionamento I	Mínima
2	2	Acionamento II	Baixa
3	4	Acionamento III	Média
4	6	Acionamento IV	Máxima
5	8	Acionamento III	Média
6	10	Acionamento II	Baixa
7	12	Acionamento I	Mínima
8	14	Desativação	Sem intensidade de calor

3.4.4 Validação do equipamento (câmara térmica)

Com o intuito de verificar se a câmara térmica estava funcionando adequadamente, realizou-se um ensaio piloto (Figura 24) para a medição da transferência de calor em uma parede de teste (idem parede 2 do Quadro 1). Para poder-se averiguar a reprodutibilidade dos dados, repetiu-se o ensaio (com condições iniciais de temperatura diferentes – Figura 25) e comparou-se os resultados de ambos os ensaios (os resultados foram plotados em função do gradiente de temperatura, baseando-se na temperatura inicial) de forma gráfica, através da sobreposição dos seus resultados (Figura 26). Os dados lidos e corrigidos obtidos destes ensaios encontram-se no ANEXO A.

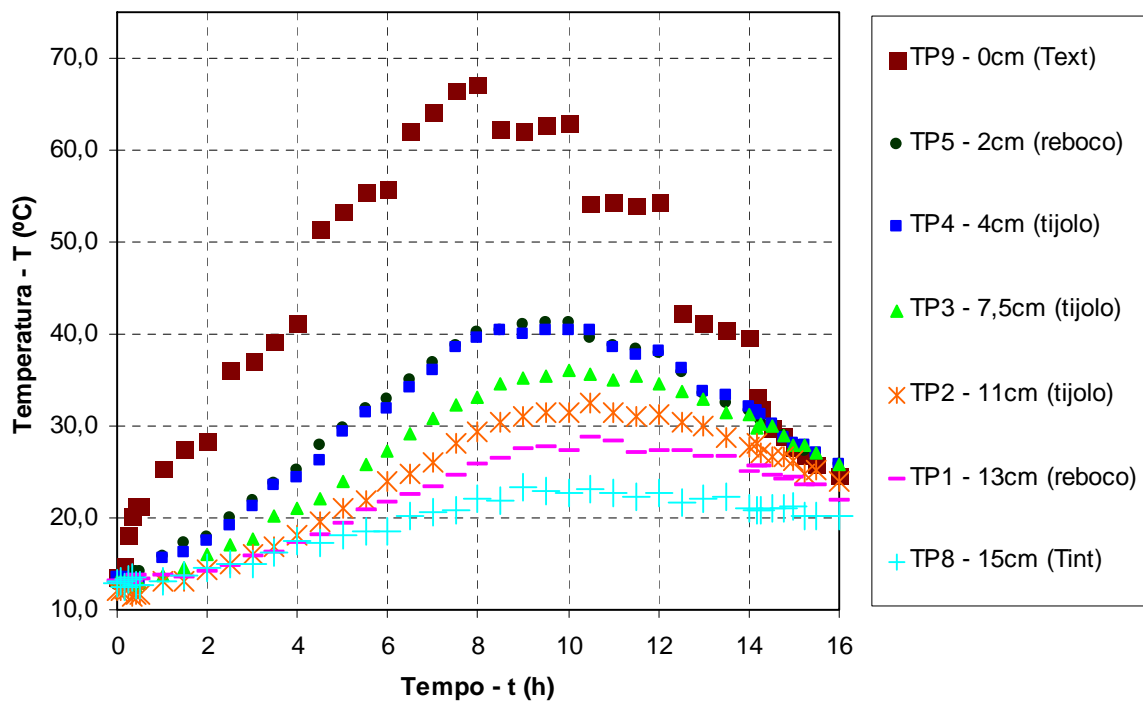


Fig. 24: Ensaio 01 - Teste piloto.

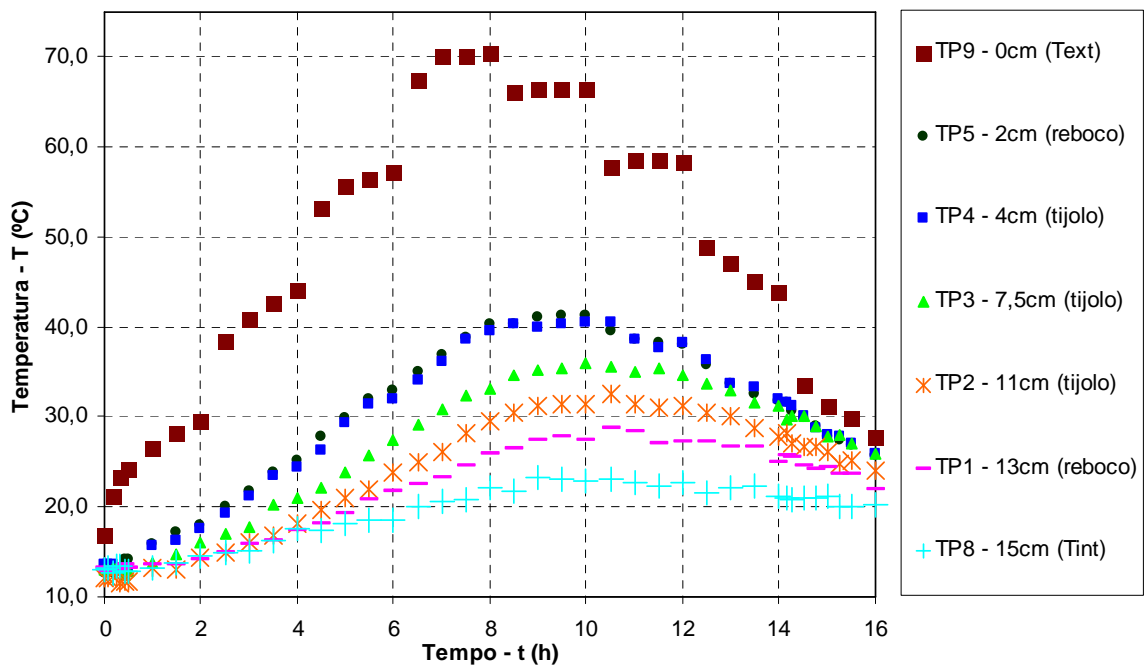


Fig. 25: Ensaio 02 – Repetição do teste piloto.

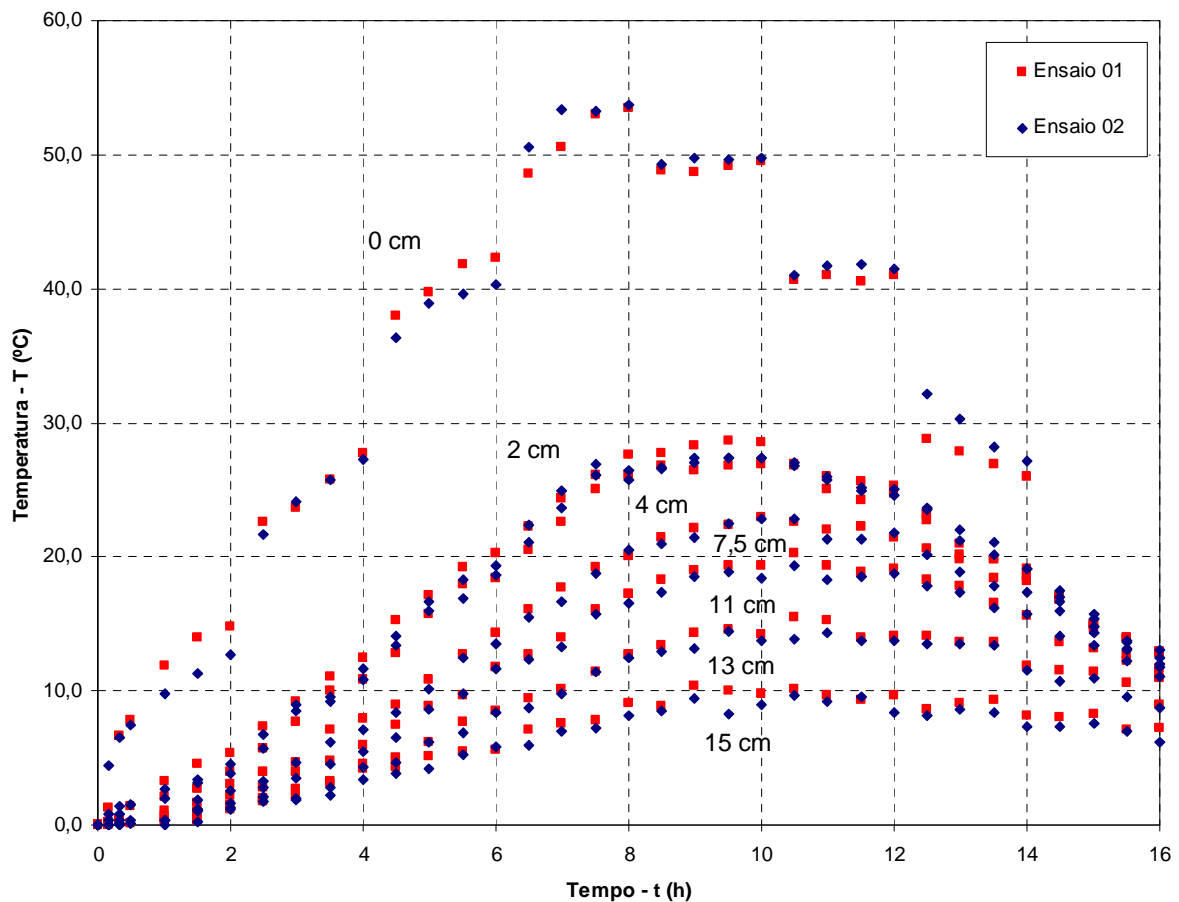


Fig. 26: Sobreposição do Ensaio 01 e do Ensaio 02.

Os resultados obtidos nestes testes pilotos conseguiram simular de maneira efetiva o comportamento térmico ao decorrer de um dia em uma estrutura real (entende-se aqui estrutura real, como sendo uma estrutura construída - não virtual - e também que não foi simulado o real comportamento de temperatura que uma parede teria quando exposta ao ambiente no decorrer de um dia), o que foi possível devido à metodologia de padronização do ensaio na câmara térmica para poder posteriormente comparar os resultados. Também observou-se com clareza a transferência de calor ao longo da espessura destas estruturas.

Por fim, pela visualização da Figura 26, torna-se evidente que os dados obtidos apresentam boa reprodutibilidade com pouca margem de erro entre si.

3.5 Modelagem Matemática

Antes de apresentar os procedimentos da modelagem matemática torna-se necessário distinguir superfície externa de superfície interna:

- Superfície externa da parede é a superfície na qual incide o calor produzido pela lâmpada, simulando as condições ambientais da face da parede em contato com o ambiente (exterior);
- Superfície interna da parede é a superfície exposta às condições ambientais do laboratório, simulando as condições internas de temperatura da parede (interior).

3.5.1 Transferência de calor em paredes compostas - o Problema Direto (PD)

O problema de transferência de calor em paredes compostas por diferentes tipos de materiais foi modelado pela conhecida equação da energia - Equação (4) -, apresentada em Dewitt & Incropera (2003) e Özisik (1993).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha_i \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad 0 < x < L \text{ e } t > 0 \quad (4)$$

$$T(0, t) = T_1(t), \quad \text{para } t > 0$$

$$T(L, t) = T_2(t), \quad \text{para } t > 0$$

$$T(x, 0) = T_o(x), \quad \text{para } 0 < x < L$$

onde α_i é a difusividade térmica (m^2/s) dos materiais i , com $i = 1, 2, 3, 4, 5$, posicionados nas partições finitas e_i , do domínio $x \in [0, L]$; T é a temperatura ($^{\circ}\text{C}$); t é o tempo (s); x é a direção de transferência de calor (m); $T_1(t)$ e $T_2(t)$ são as condições de fronteira interna e externa, respectivamente; e $T_o(x)$ é a condição inicial. A Figura 27 apresenta um detalhe de uma parede composta por diferentes materiais.

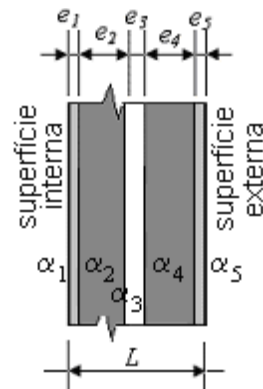


Fig. 27: Detalhe da parede composta por materiais de difusividades térmicas $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_5$ e espessuras e_1, e_2, \dots, e_5 .

3.5.2 Condições de contorno

A distribuição da temperatura em um dia de sol, sem nuvens, em uma parede exposta, apresenta temperaturas amenas no início e final do dia e um pico de temperatura máxima, em torno da meia tarde. A Equação (5) foi escolhida para descrever essa distribuição de temperatura em função do tempo.

As condições de fronteira foram obtidas experimentalmente para determinados valores de tempo e expandidas para cada instante de tempo por meio de um ajuste não-linear de curvas. O mesmo procedimento foi efetuado para a condição inicial, expandindo os dados discretos para qualquer valor de x . Com base nestes dados foram ajustados os parâmetros A , b e t_m da Equação (5).

$$T_f(t) = Ae^{-a(t-b)^2} \quad (5)$$

onde:

T_f : é a temperatura nas superfícies (externa ou interna) ($^{\circ}\text{C}$);

A : é o parâmetro associado à temperatura máxima no período simulado ($^{\circ}\text{C}$);

a : é um parâmetro ajustado associado à curvatura da função (1/s);

b : é um parâmetro ajustado associado ao instante de máxima temperatura no período simulado (s);

t : é o tempo (s).

O parâmetro A está relacionado com a temperatura máxima, b com a curvatura da função e t_m com o instante de tempo em que a temperatura é máxima no período. Todos estes parâmetros foram ajustados pelo Método de Procura em Rede (MPR) de ajuste não linear, apresentado em Neto, A. & Neto F. (2005), através de programa próprio.

Um valor médio foi utilizado para a distribuição da temperatura em cada posição da parede, em $t = 0$ s, (condição inicial), com base nos dados experimentais, devido a pequena diferença observada na variação da temperatura, em relação à posição x .

A Equação (4) foi discretizada e resolvida em Diferenças Finitas Centrais (DFC) pelo Método Implícito (MI), levando em conta as condições de contorno como funções do tempo - Equação (3) - e os diferentes valores das difusividades térmicas em cada camada da parede, chamado neste trabalho de Problema Direto.

3.5.3 Cálculo das difusividades térmicas - o Problema Inverso (PI)

As difusividades térmicas dos materiais foram calculadas resolvendo o problema inverso de transferência de calor, com base nos dados experimentais de temperatura em função do tempo, para cada posição dos termopares no interior da parede, utilizando o MPR, de acordo com os seguintes passos:

- 1º Passo: Estima-se intervalos $I_p = [\alpha_{p\min}, \alpha_{p\max}]$ de valores de difusividade onde $p=1,2,3,\dots,5$ (número de parâmetros) que contêm, cada um deles, o valor ótimo da difusividade de cada material;

- 2º Passo: Constrói-se uma partição de s pontos $\alpha_{pk} = \alpha_{pmin} + (k-1)\Delta\alpha_p$ com $k=1,2,3,\dots,s$ e $\Delta\alpha_p = (\alpha_{pmax} - \alpha_{pmin}) / (s-1)$;
- 3º Passo: Para cada seqüência de valores $(\alpha_{1k}, \alpha_{2k}, \dots, \alpha_{nk})$ para $k=1,2,3,\dots,s$ resolve-se o Problema Direto usando a solução numérica;
- 4º Passo: Calcula-se as diferenças d_i entre as soluções calculadas e os dados experimentais usando a Equação (6).

$$d_i = \sum_{j=1}^m \sum_{t=0}^{t_f} (T_{cal}(j,t) - T_{exp}(j,t))^2 \quad (6)$$

onde: $i=1,2,3,\dots,s^n$, $T_{exp}(j,t)$ são os dados experimentais para cada profundidade j e tempo t .

- 5º Passo: Identifica-se o menor valor de $d_i(d_{min})$. Esta diferença corresponde ao conjunto de parâmetros α_{ot} para o intervalo I_p .

O MPR é um método que não tem problemas de convergência, porque busca a solução que apresenta a menor diferença d_i - Equação (6) - entre um conjunto de soluções finito. Por esse motivo pode ser considerado um método de soluções sub-ótimas, porém para um número suficientemente grande de divisões, em que o coeficiente de correlação não apresenta variações significativas, os resultados tendem a soluções ótimas. O método tem a vantagem de não necessitar de cálculo de derivadas, porém sua execução computacional tende a ser mais demorada que outros métodos, apresentados em Özişik & Orlande (2000) e em Neto, A. & Neto F. (2005), como Levenberg-Marquardt e Gradientes Conjugados, por exemplo. Mesmo assim, mostrou-se um método eficiente para o presente problema.

O cálculo da difusividade, onde são utilizados os problemas direto e inverso, foi realizado numericamente com programa próprio e executado no *software* MATLAB.

3.5.4 Fluxo e quantidade de calor

O fluxo de calor em uma superfície S é definido pela Lei de Fourier - Equação (7) - (DEWITT & INCROPERA, 2003).

$$q = k \frac{dT}{dx} \quad (7)$$

onde:

q : é o fluxo de calor (Wm^{-2});

k : é a condutividade térmica ($\text{Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$);

dT : é a variação de temperatura na direção x;

dx : é a distância de dois pontos na direção x.

Para a transferência de calor em uma parede, pode-se considerar dois pontos: um x_1 , externo à parede, mas aderindo à superfície e outro x_2 interno à parede a poucos milímetros da superfície. Assim - Equação (8):

$$dx = x_2 - x_1 \quad e \quad dT = T_2 - T_1 \quad (8)$$

Dessa forma a Lei de Fourier pode ser escrita como - Equação (9):

$$q = k \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (9)$$

onde: k é a condutividade térmica do material constituinte da superfície da parede em que o fluxo esta sendo considerado.

Neste trabalho foram utilizados os valores de k da literatura (DEWITT & INCROPERA, 2003).

O fluxo q de calor pode assumir valores positivos ou negativos. Na Figura 28 está representada uma parede genérica, com a convenção adotada para os sinais dos fluxos para as fronteiras $x = 0$ (esquerda) e $x = L$ (direita).

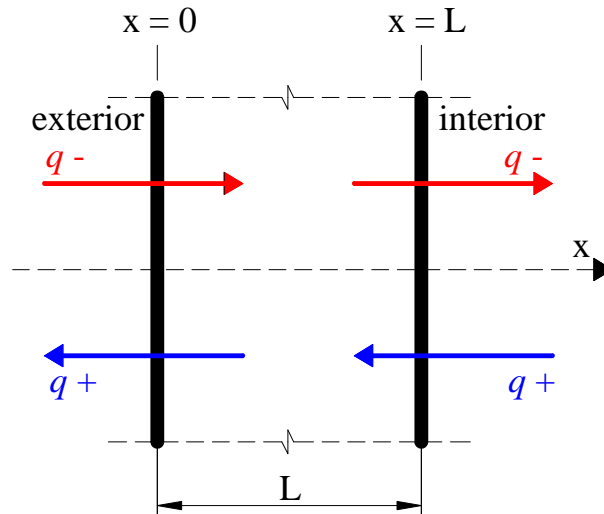


Fig. 28: Fluxos positivos e negativos em uma parede.

A quantidade de calor que passa, por metro quadrado, pela superfície S é obtida multiplicando o fluxo de calor pelo intervalo de tempo - Equação (10) ou Equação (11):

$$Q = q \cdot dt \quad (10)$$

ou

$$Q = k \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} dt \quad (11)$$

onde:

Q : é a quantidade de calor (Jm^{-2});

dt : é o intervalo de tempo (s).

3.5.5 Relação termo-econômica

Com o intuito de avaliar o desempenho térmico e econômico das estruturas estudadas criou-se o índice E - Equação (12) - que é a relação termo-econômica por unidade de área construída de parede, o qual varia entre 0 e 1. Quanto maior for este índice, pior é o desempenho termo-econômico da parede.

$$E = \left(\frac{QT}{C} \right) \div N \quad (12)$$

onde:

E : é a relação termo-econômica por metro quadrado de parede ($J / R\$$);

QT : é a quantidade de calor que passa pela parede por metro quadrado (J / m^2);

C : é o custo total de cada parede por metro quadrado ($R\$ / m^2$);

N : é igual a $-1,2 \times 10^5$; através desse fator a relação termo-econômica assume valores positivos entre 0 e 1.

O valor de N foi definido com base no maior valor observado, para os casos estudados, da razão QT/C , acrescido de uma margem extra, pois entende-se que podem existir paredes com desempenho térmico inferior.

4. RESULTADOS

Após a validação do equipamento realizou-se os ensaios experimentais, utilizando-se da câmara térmica, nas configurações de paredes definidas - Quadro 1, Quadro 2 e Quadro 3. Desta forma, foi possível medir as distribuições de temperatura ao longo da espessura de cada parede, incluindo as condições de fronteira: temperaturas ao longo do tempo em $x = 0$, temperaturas ao longo do tempo em $x = L$, e temperaturas iniciais em $t = 0$. Assim, aplicou-se aos resultados das medições de temperatura de cada parede, as equações de correção respectivas (Tabela 17). Os dados lidos e corrigidos obtidos destes ensaios encontram-se no ANEXO B.

Com os ensaios laboratoriais terminados, passou-se a próxima etapa da pesquisa, que consistia na modelagem matemática. Os resultados desta modelagem encontram-se na seqüência deste capítulo, bem como demais informações relevantes para a análise da transferência de calor em paredes compostas por tijolos maciços. Cabe ressaltar que da maneira na qual foram realizados os ensaios na câmara térmica, temperatura externa maior que a temperatura interna, simulou-se o comportamento térmico de verão. Assim, os desempenhos térmicos e econômicos dizem respeito a esta estação do ano, o que pode ser diferente para o inverno.

4.1 Ajuste de curvas nas superfícies das paredes

A Tabela 19 apresenta os valores dos parâmetros ajustados e o respectivo coeficiente de correlação. As curvas da superfície externa (T_e) apresentaram correlação próxima da unidade para praticamente todos os ajustes, enquanto que as curvas da superfície interna (T_i) apresentaram correlação mais baixa. Mesmo assim, como se observa na Figura 29, as curvas ajustadas descrevem muito bem a tendência dos dados experimentais para ambas as superfícies.

Tabela 19 – Coeficientes ajustados da Equação (3.3).

Parede	A		$a (x 10^{-8})$		b		R^2	
	T_e	T_i	T_e	T_i	T_e	T_i	T_e	T_i
1	67,00	28,00	0,143636	0,05454	30909,00	36818,18	0,9890	0,9260
2	70,30	30,70	0,117430	0,03426	32000,00	39000,00	0,9796	0,9376
3	67,00	24,10	0,117430	0,01763	29666,66	43666,66	0,9570	0,8969
4	67,00	24,10	0,100800	0,01763	29666,66	33166,66	0,9111	0,8900
5	63,70	20,80	0,100800	0,00100	32500,00	61000,00	0,9532	0,2941
6	73,27	19,81	0,105100	0,00010	32900,00	27800,00	0,9550	-1,5843
7	65,34	25,75	0,105100	0,01009	31400,00	45200,00	0,9882	0,8038
8	67,00	24,10	0,117400	0,01763	31000,00	43000,00	0,9882	0,8038

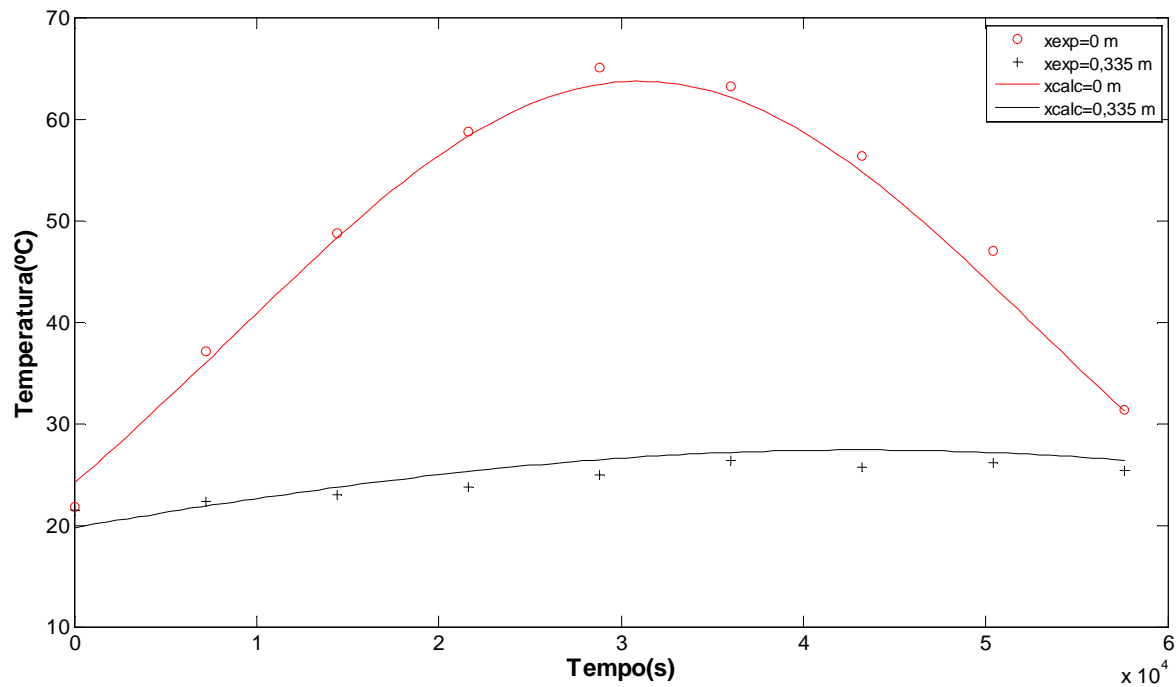


Fig. 29: Curvas das condições de fronteira da parede 7.

A baixa correlação nas curvas T_i deve-se a horizontalidade destas, visto que o coeficiente de correlação R^2 - Equação (13) - é uma comparação das diferenças entre os dados experimentais e calculados com as diferenças entre os dados experimentais e a média destes mesmos dados. Como a média é uma reta horizontal, é natural que a correlação, nesses casos seja baixa, mesmo que o erro quadrático dos dados ajustados seja próximo de zero.

$$R^2 = 1 - \frac{SQE}{SQT} \quad (13)$$

$$SQE = \sum_{i=1}^n (T_{\text{exp}} - T_{\text{cal}})^2$$

$$SQT = \sum_{i=1}^n (T_{\text{exp}} - T_m)^2$$

onde:

R^2 : coeficiente de correlação (adimensional);

SQE : somatório do quadrado dos erros;

SQT : somatório do quadrado das diferenças entre os dados experimentais e a média destes.

T_{exp} : temperatura experimental ($^{\circ}\text{C}$);

T_{cal} : temperatura calculada ($^{\circ}\text{C}$);

T_m : temperatura média experimental ($^{\circ}\text{C}$).

4.2 Difusividade térmica dos materiais

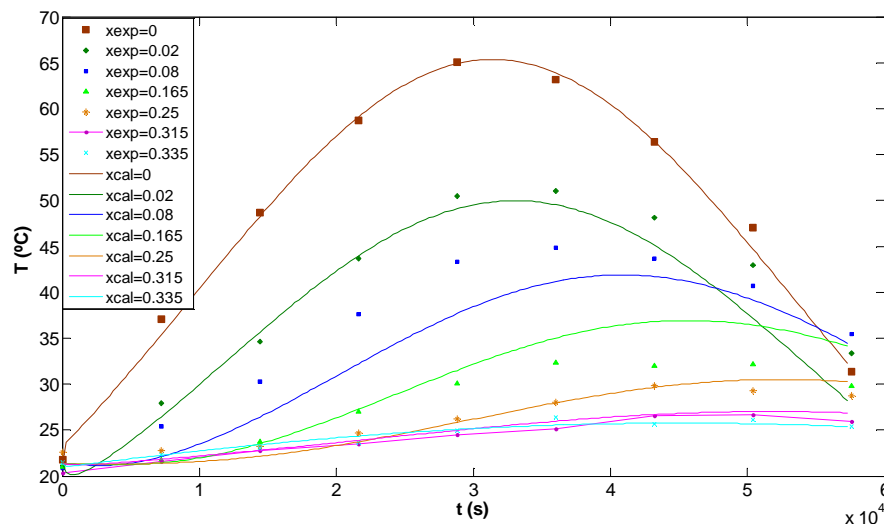
Os dados de difusividade térmica dos materiais utilizados para a construção das paredes, obtidos em Dewitt & Incropera (2003), estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Parâmetros térmicos dos materiais.

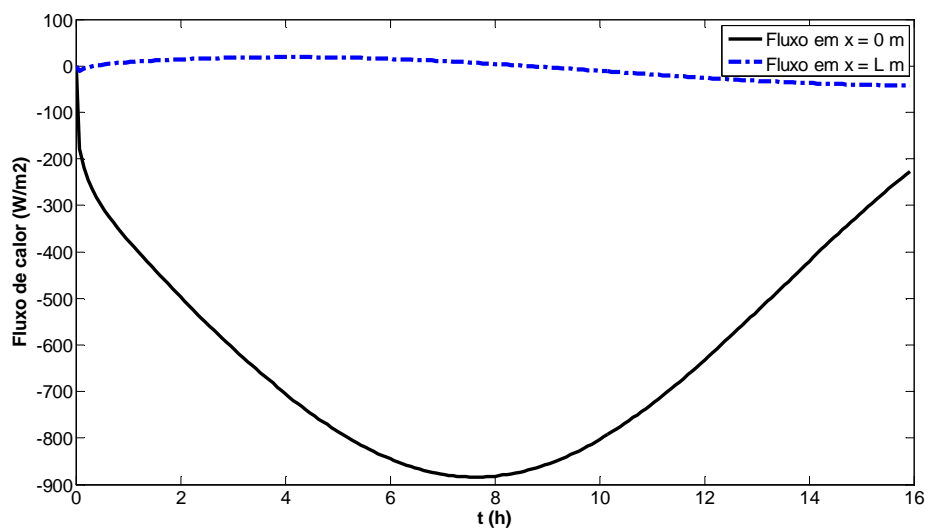
Material/ Propriedade	Massa específica (kg/m^3)	Condutividade térmica ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)	Calor específico ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$)	Difusividade térmica (m^2/s)
Reboco	1860	0,72	780	4,96E-07
Tijolo	1920	0,72	835	4,49E-07
Poliestireno	105	0,036	795	4,31E-07
Ar (300K)	1,1614	0,0263	1007	2,25E-05

Fonte: Adaptado de Dewitt & Incropera (2003).

Observa-se que as difusividades dos materiais são realmente muito próximas. Somente a difusividade do ar é 100 vezes maior do que os demais materiais. Tal semelhança pode levar a conclusão de que pequenas variações da difusividade térmica não alteram significativamente a distribuição de temperatura. Porém não é isso que mostram as Figuras 30 e 31, onde apresenta-se simulações da parede P7, com difusividades ligeiramente diferentes. Observa-se que pequenas variações na difusividade não só alteram a distribuição de temperatura, mas o fluxo de calor nas superfícies. Cabe ressaltar também, que a resolução do problema direto para cada parede, com os parâmetros térmicos da literatura (Tabela 20), não apresentou resultados satisfatórios.

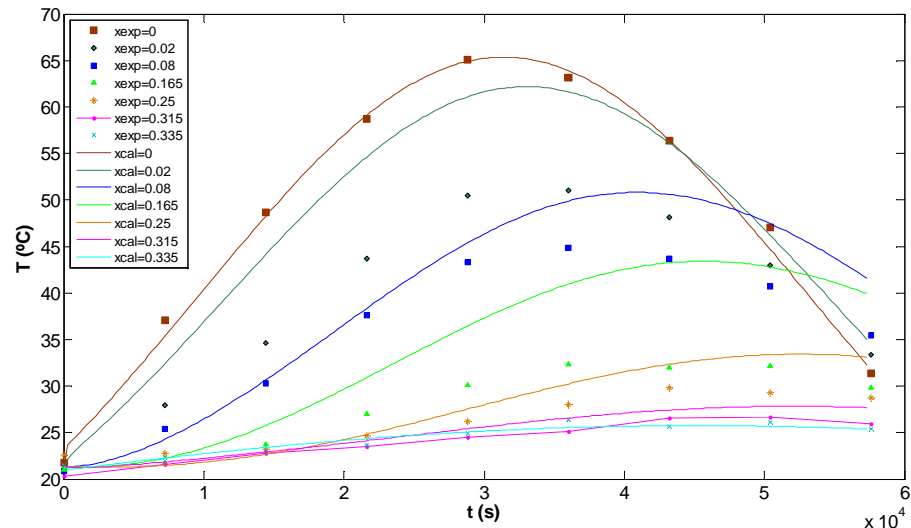


(a) – Distribuição de temperatura

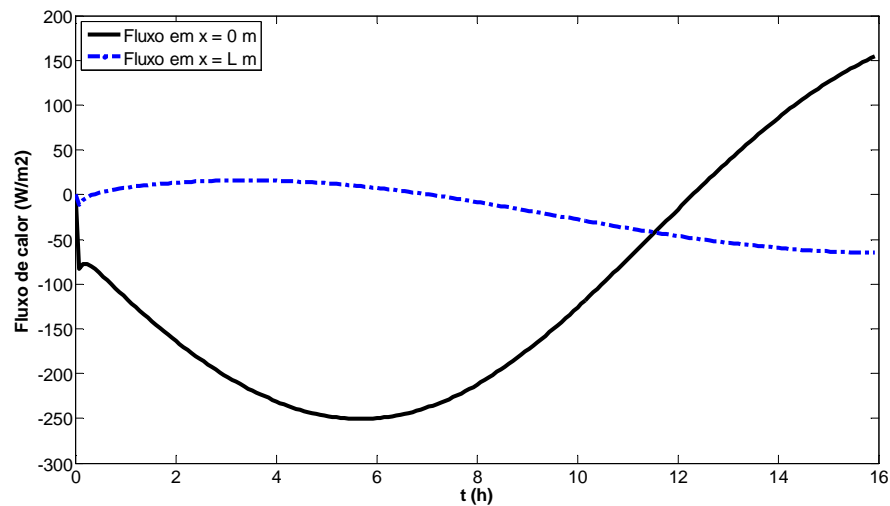


(b) – Fluxo nas superfícies

Fig. 30: P7 com α reboco = $4 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$; α tijolo = $5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$; α ar = $2,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.



(a) – Distribuição de temperatura



(b) – Fluxo nas superfícies

Fig. 31: P7 com $\alpha_{\text{reboco}} = 5 \times 10^{-7} \text{ m/s}^2$; $\alpha_{\text{tijolo}} = 5 \times 10^{-7} \text{ m/s}^2$; $\alpha_{\text{ar}} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$.

Assim, o algoritmo do problema inverso foi aplicado em cada parede, usando as respectivas condições de contorno e número de divisões do intervalo de valores de difusividade igual a 31. Os resultados do PI estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Difusividades térmicas dos materiais.

Paredes	Reboco (m ² /s) (x 10 ⁻⁷)	Tijolo (m ² /s) (x 10 ⁻⁷)	Poliestireno (m ² /s) (x 10 ⁻⁷)	Ar (m ² /s) (x 10 ⁻⁷)	R ²
1	9,0000	0,7900	-	-	0,7921
2	4,4666	3,4000	-	-	0,9790
3	5,0000	6,8666	-	-	0,9663
4	4,4666	1,0000	5,2667	-	0,9669
5	4,3333	5,5333	90,0000	-	0,9747
6	14,0666	15,8330	0,9166	-	0,9675
7	18,8800	22,2333	-	1,8000	0,9802
8	5,5333	3,6666	-	-	0,9693

A aplicação do problema inverso em cada parede apresenta alguns resultados coerentes com os dados da literatura e outros discordantes.

Nas paredes P1, P4 e P5 o problema inverso ficou insensível às mudanças em uma das difusividades dos materiais: Na P1, a difusividade do reboco, nas P4 e P5 a difusividade do tijolo e do poliestireno, respectivamente. Ou seja, mesmo alterando o valor da difusividade a função objetivo - Equação (6) - do problema inverso não apresentava melhoras. Conclui-se então, que nestes casos, os dados experimentais, tais como estão, não permitem a procura de valores ótimos da difusividade (valores em vermelho na Tabela 21).

Na parede P1 o reboco tem espessura muito pequena em relação à largura do tijolo, sendo que a transferência de calor fica influenciada mais fortemente pelo tijolo que pelo reboco (última camada). Como a variação de temperatura nas últimas camadas é pouco significativa, a interferência das variações da difusividade do reboco na definição do campo de temperatura é pequena.

Nas paredes P4 e P5 ocorreu o mesmo problema que na parede P1, pois praticamente não houve transferência de calor para o lado interno. Se não há variação de temperatura não tem como o problema inverso identificar um alfa ótimo. Qualquer alfa colocado dá o mesmo erro quadrático.

Já nas paredes P6 e P7 observa-se valores de difusividade do reboco e dos tijolos cerca de 4 vezes maiores do que das demais paredes. Nestas paredes a temperatura das camadas próximas à superfície interna também não variou significativamente, como nas paredes P4 e P5, porém, nesse caso, o programa teve sucesso na determinação da difusividade térmica de todos os materiais.

Como o Problema Inverso apresenta esta falta de sensibilidade para identificar a solução ótima, pode-se buscar soluções não ótimas por tentativas, que apresentem coeficiente de correlação razoável e/ou uma distribuição de temperatura coerente com os dados experimentais. Esta opção foi implementada utilizando valores de difusividade próximos aos da literatura, adaptados manualmente. Os resultados estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Difusividades térmicas dos materiais reavaliadas.

Paredes	Reboco (m ² /s) (x 10 ⁻⁷)	Tijolo (m ² /s) (x 10 ⁻⁷)	Poliestireno (m ² /s) (x 10 ⁻⁷)	Ar (m ² /s) (x 10 ⁻⁷)	R ²
1	3,5000	4,0000	-	-	0,6697
2	4,4666	3,4000	-	-	0,9790
3	5,0000	6,8666	-	-	0,9663
4	4,3555	6,3333	4,7555	-	0,9114
5	4,3333	5,5333	5,0000	-	0,9713
6	4,3333	5,5333	5,0000	-	0,9416
7	4,3333	5,0000	-	250,0000	0,9785
8	5,5333	3,6666	-	-	0,9693

O mesmo problema identificado na aplicação do problema inverso na parede P1 ocorreu novamente no ajuste por tentativas, evidenciado pelo baixo coeficiente de correlação indicado na Tabela 22.

Assim, como mostra a Tabela 22, os valores adotados para as difusividades dos materiais estão na faixa de:

- Reboco: 3,5000 a 5,5333 x10⁻⁷ (m/s²);
- Tijolo: 3,4000 a 6,8666 x10⁻⁷ (m/s²);
- Poliestireno: 4,7555 a 5,000 x10⁻⁷ (m/s²);
- Ar: 250,0000 x10⁻⁷ (m/s²).

Utilizando-se destes valores calculados de difusividades térmicas (Tabela 22), resolveu-se o Problema Direto. Os resultados encontram-se nas Figuras 32 a 39 (também estão apresentados os dados experimentais dos ensaios na câmara térmica). As curvas $x_{cal} = 0$ e $x_{cal} = L$ são as condições de fronteira em $x=0$ e $x=L$, ajustadas por ajuste não linear, independentemente do problema inverso.

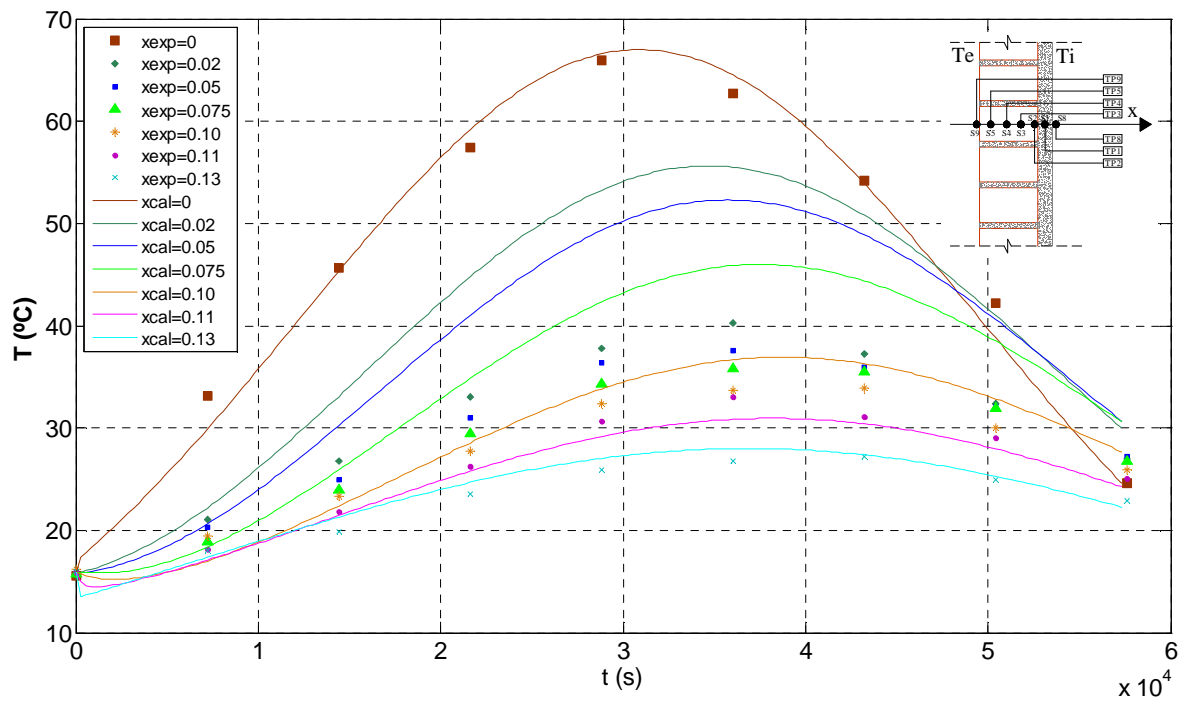
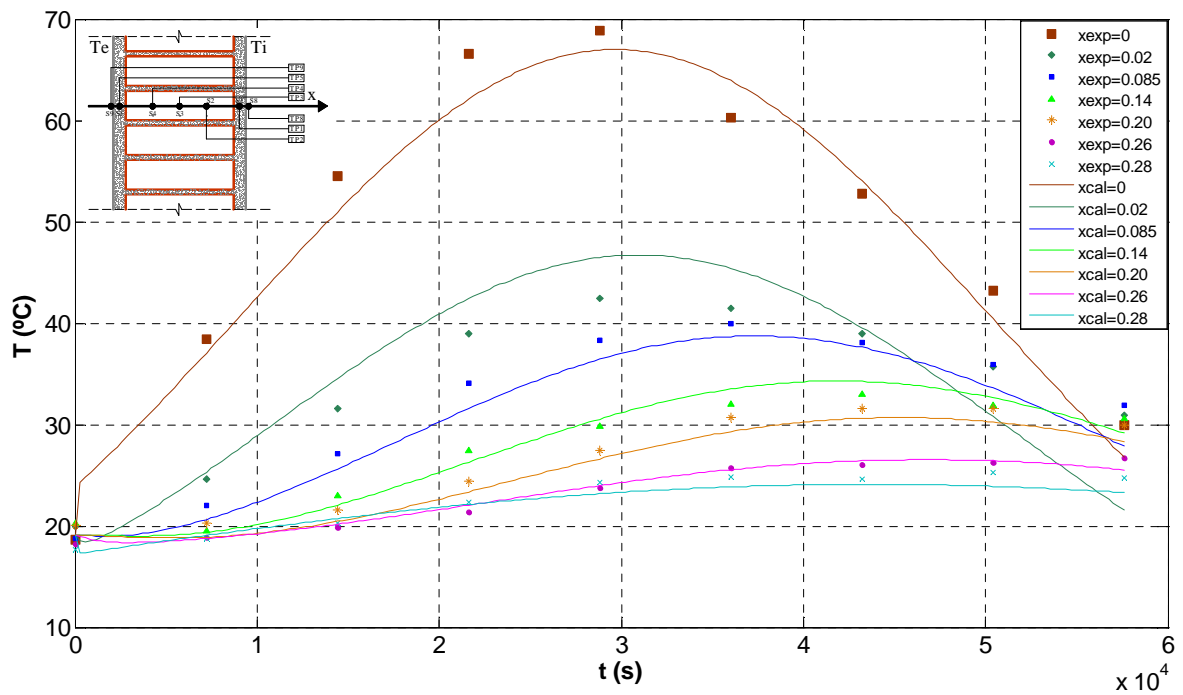
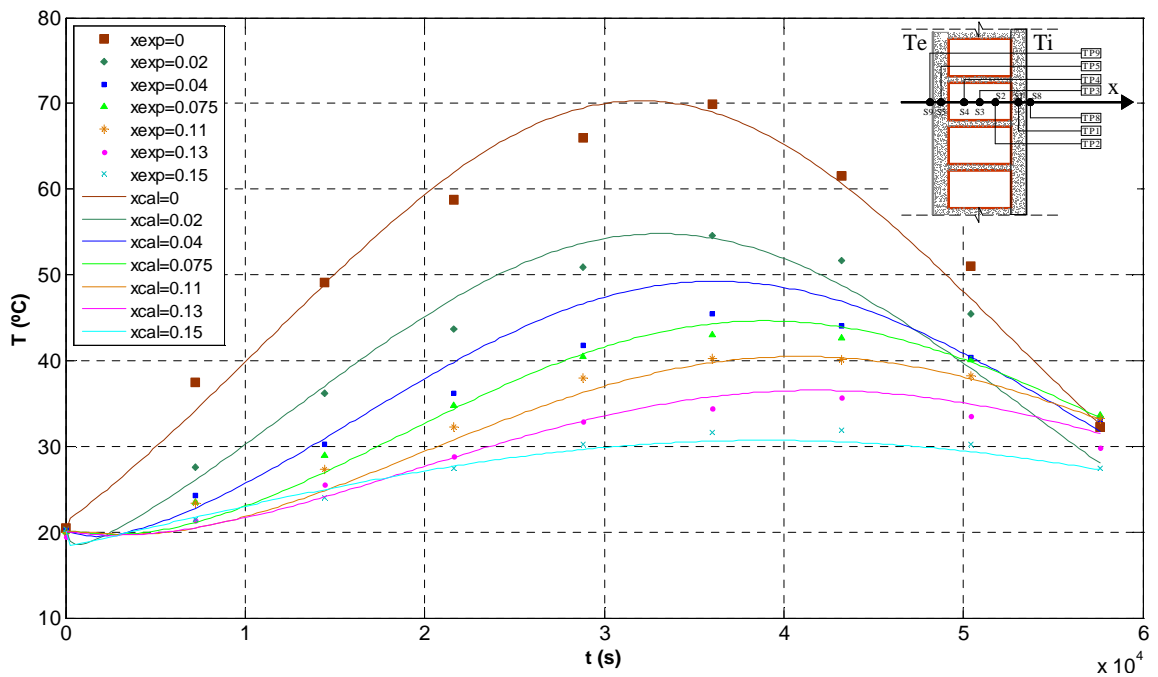


Fig. 32: Parede 1 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.



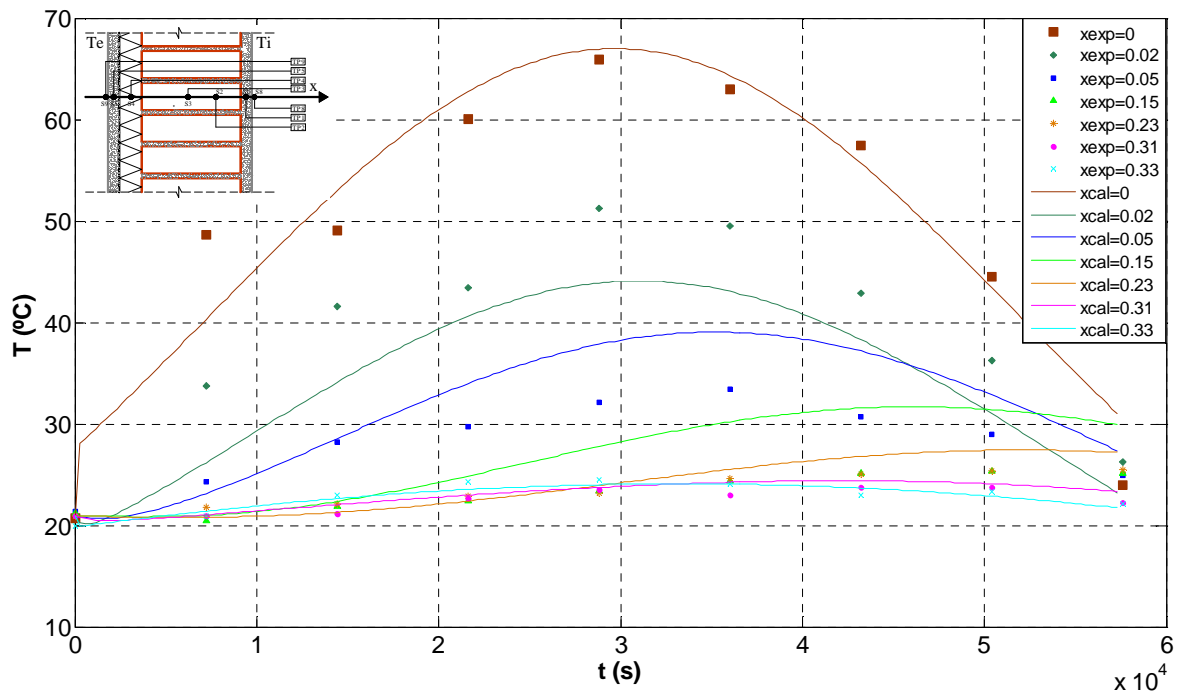


Fig. 35: Parede 4 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.

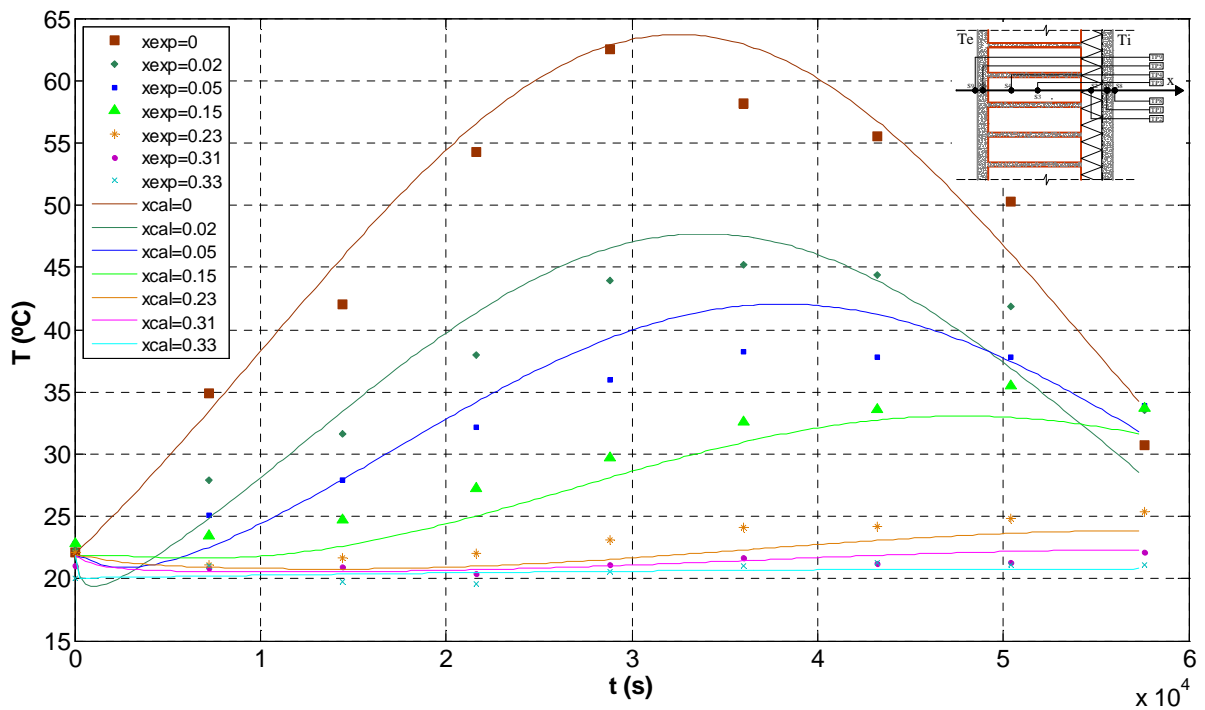


Fig. 36: Parede 5 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.

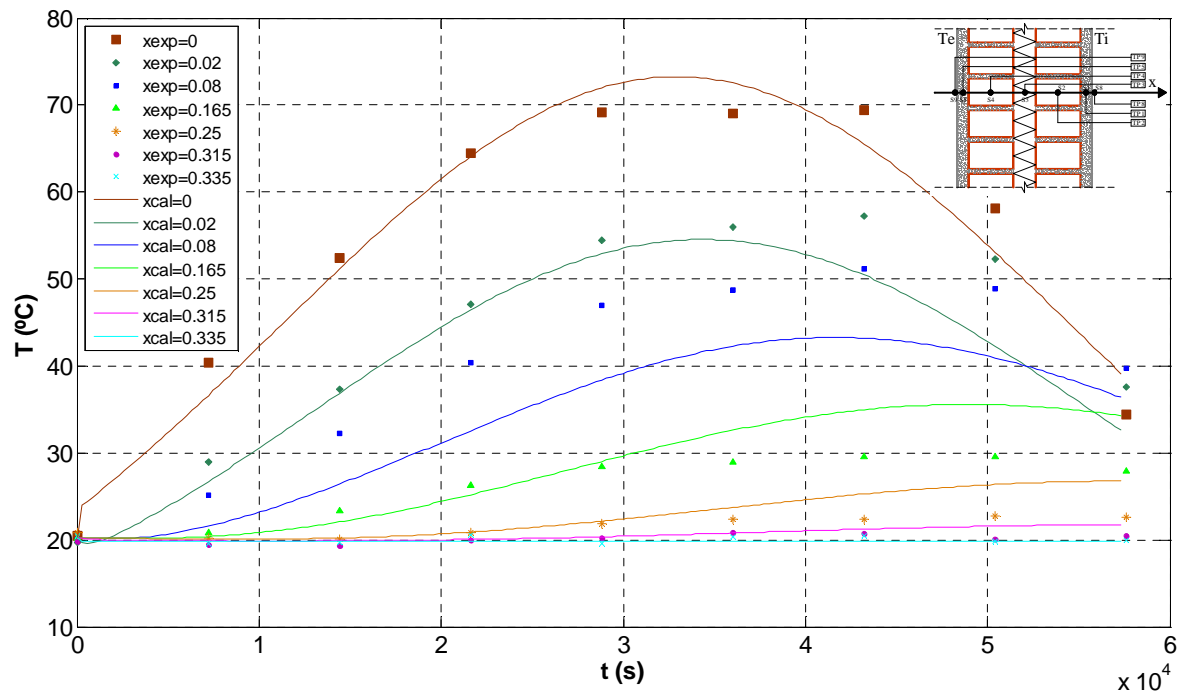


Fig. 37: Parede 6 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.

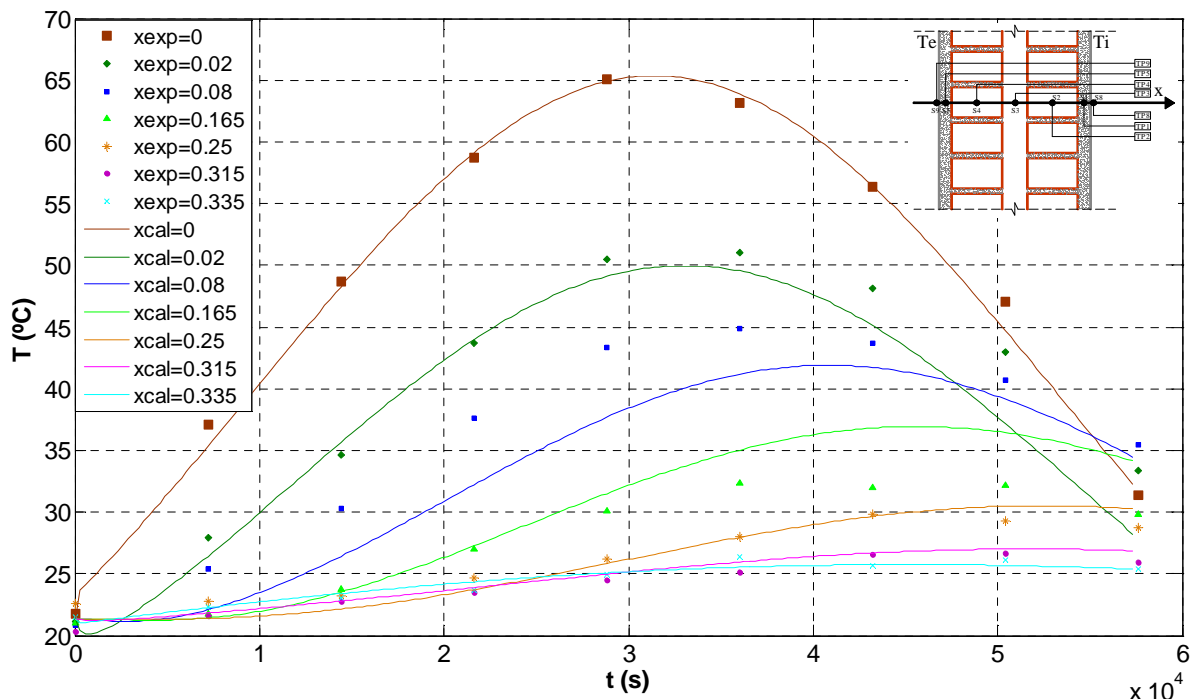
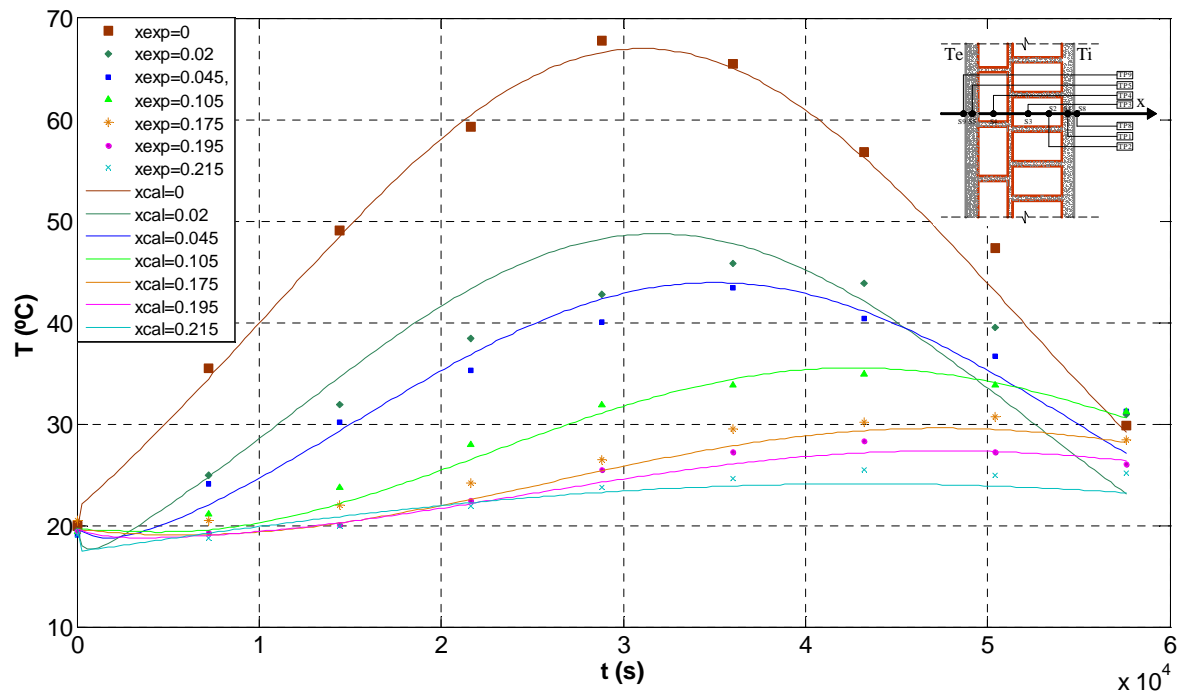


Fig. 38: Parede 7 – Comparação dos dados experimentais com os resultados do PI.



4.3 Fluxo de calor

O programa desenvolvido, além de estimar o valor das difusividades dos materiais envolvidos, calcula o fluxo de calor tanto na superfície externa ($x = 0$) quanto na superfície interna ($x = L$) da parede em função do tempo, viabilizando a análise do desempenho térmico de diferentes composições de materiais. Os resultados dos fluxos de calor encontram-se nas Figuras 40 a 47.

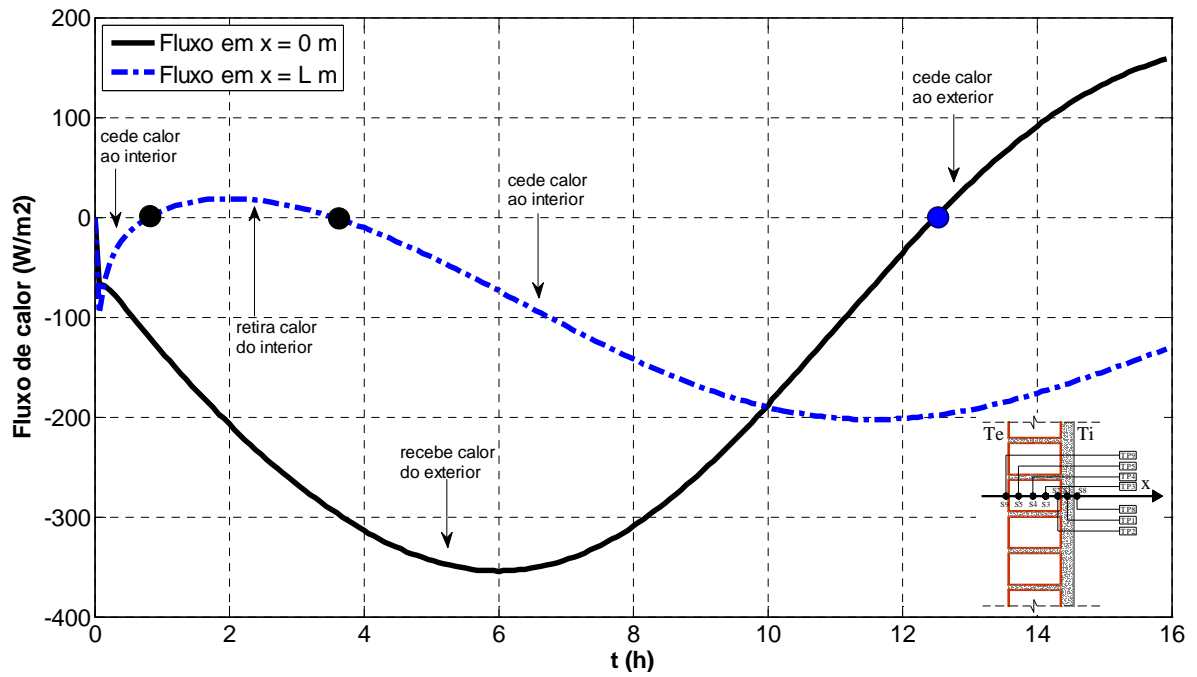


Fig. 40: Fluxo de calor na parede 1.

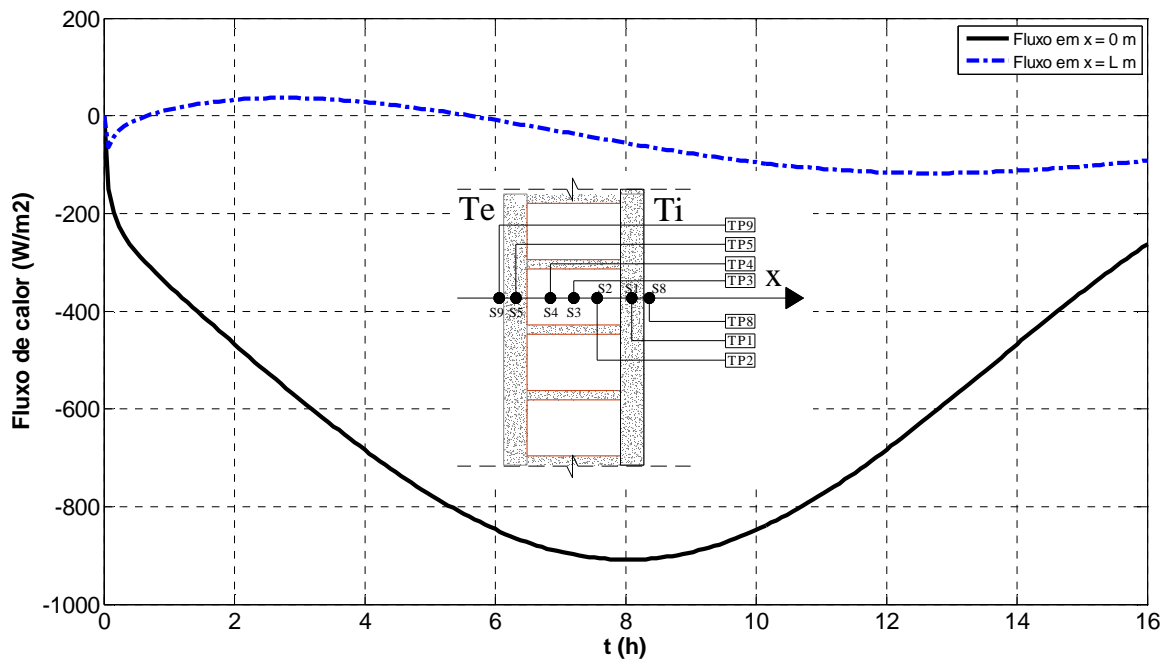


Fig. 41: Fluxo de calor na parede 2.

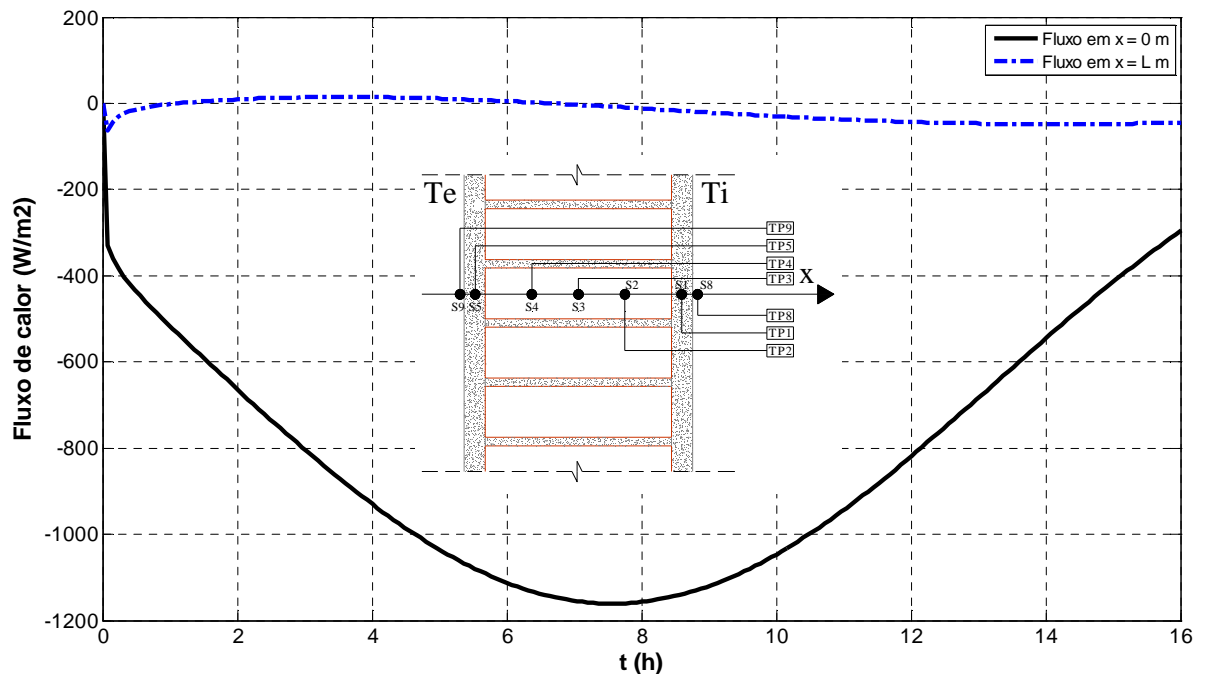


Fig. 42: Fluxo de calor na parede 3.

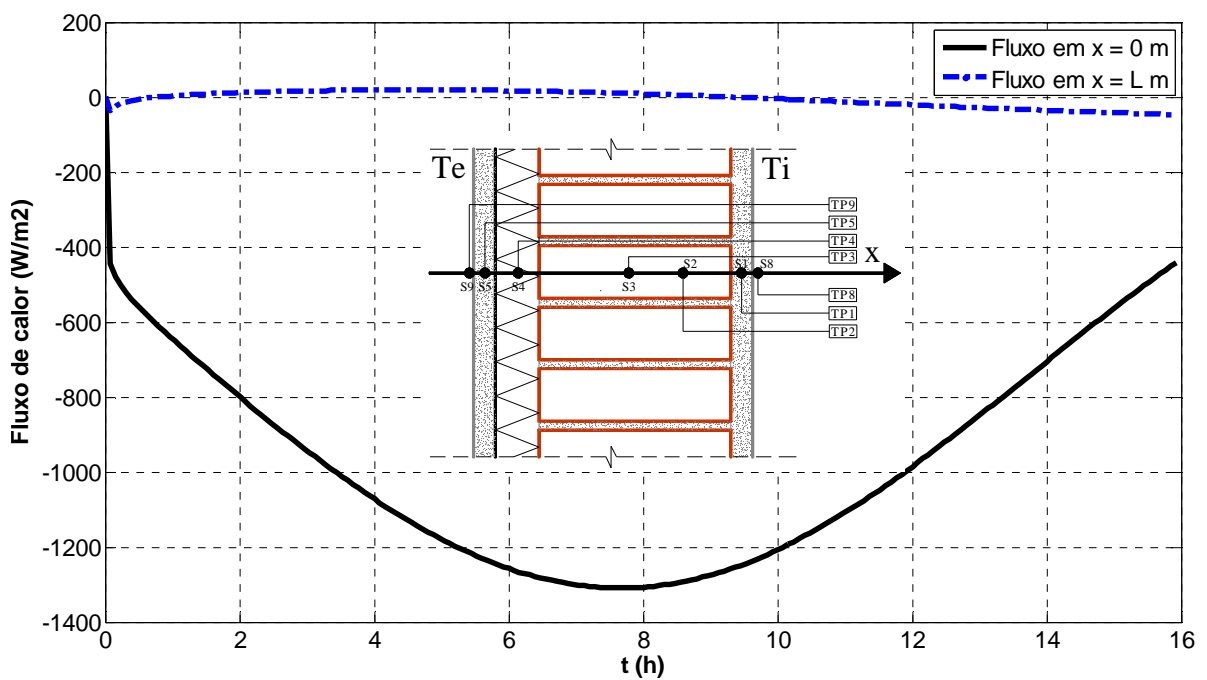


Fig. 43: Fluxo de calor na parede 4.

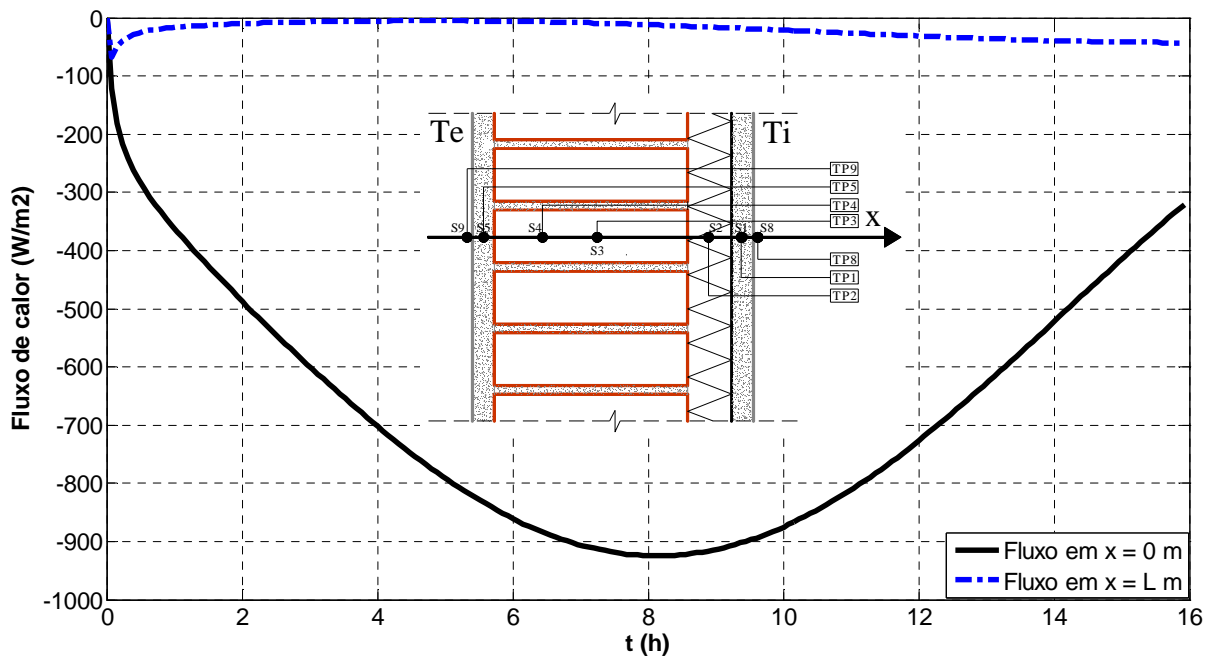


Fig. 44: Fluxo de calor na parede 5.

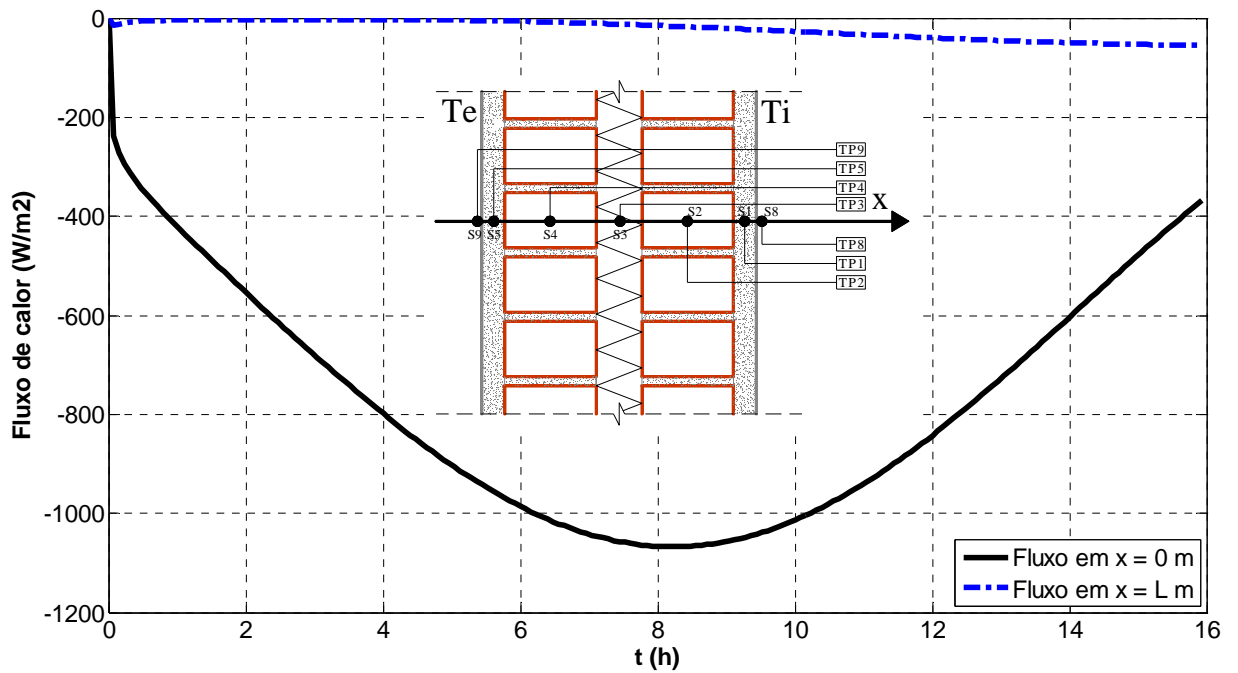


Fig. 45: Fluxo de calor na parede 6.

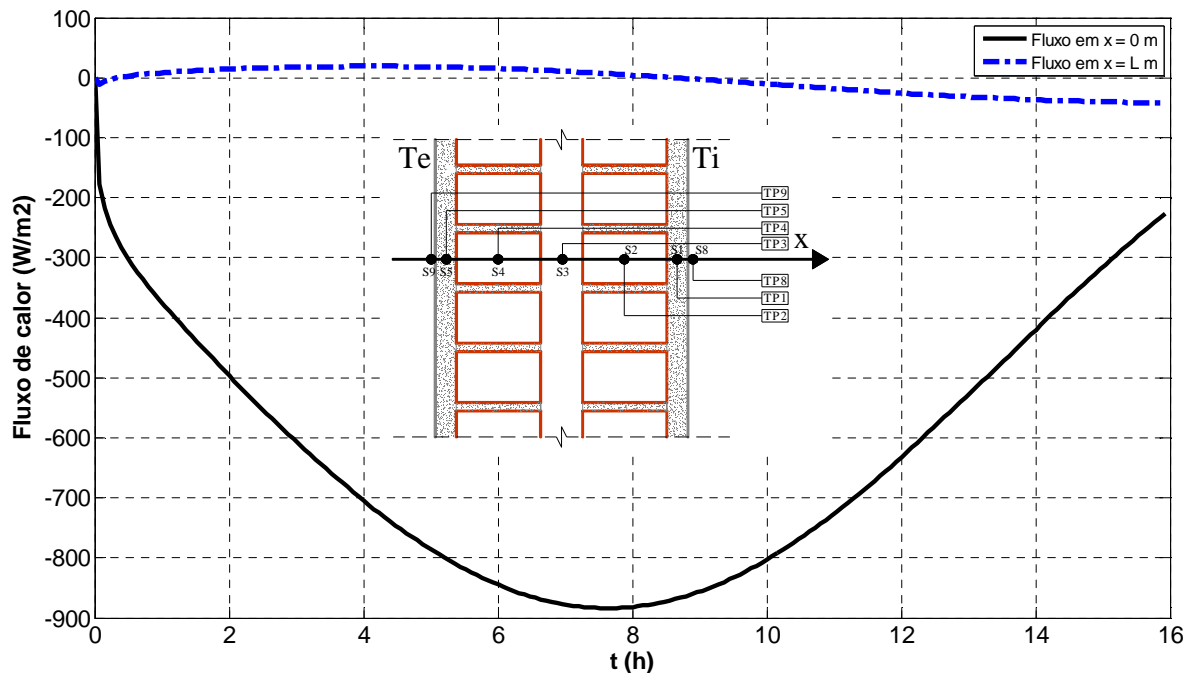


Fig. 46: Fluxo de calor na parede 7.

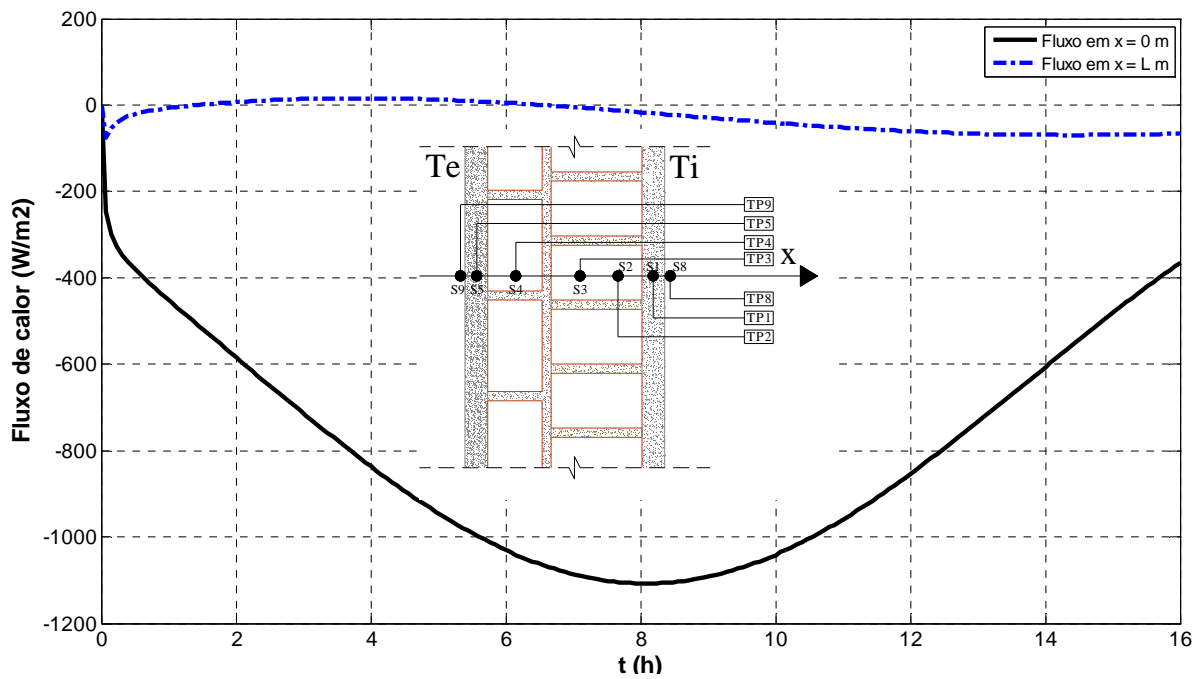


Fig. 47: Fluxo de calor na parede 8.

4.3.1 Fluxo máximo de calor e quantidade de calor

Conhecidos os fluxos de calor em $x = 0$ e em $x = L$, foi possível obter os fluxos máximos (F_{max}), bem como a quantidade de calor (QT) de cada parede nas 16 horas de duração do ensaio (Tabela 23).

Tabela 23 – Fluxo e quantidade de calor para 16h.

Parede	x = 0			x = L		
	Fmax (W/m ²)	Tempo Fmax (h)	QT x 10 ⁷ (J/m ²)	Fmax (W/m ²)	Tempo Fmax (h)	QT x 10 ⁵ (J/ m ²)
1	-354,38	6,00	-0,9250	-202,61	11,60	-61,7278
2	-908,93	8,00	-3,7293	-117,43	12,72	-27,9031
3	-1160,77	7,60	-4,7820	-63,36	0,08	-10,0376
4	-1309,66	7,68	-5,6279	-47,19	15,92	-2,3763
5	-924,66	8,16	-3,8773	-68,13	0,08	-11,8288
6	-1067,25	8,24	-4,4700	-55,05	15,92	-12,4613
7	-884,04	7,60	-3,6260	-42,31	15,92	-3,0749
8	-1107,71	8,08	-4,6345	-76,04	0,08	-15,1100

O fluxo máximo é um dado importante para estudar o conforto térmico e a capacidade de isolamento das paredes. Paredes que evitam um pico alto de fluxo tendem a manter as condições do ambiente menos variáveis termicamente.

A quantidade total de calor que passa pela parede durante o dia é o balanço geral de todo o calor que entra e sai pela superfície. É a soma algébrica da quantidade de calor de cada instante de tempo. Este dado também é importante para verificar a eficiência da parede como isolante térmico. Paredes com baixos valores de QT são eficientes como isolantes, pois minimizam a carga térmica dos ambientes internos.

Assim, a comparação dos fluxos e das quantidades de calor para cada composição é uma informação importante para a análise do desempenho térmico, visando uma melhor utilização dos materiais e a minimização do gasto de energia com refrigeração e aquecimento de ambientes. No presente estudo interessa fazer essa comparação em $x = L$, pois aí se situa a

superfície interna da parede, ou seja, quanto menos calor passar para a superfície interna melhor é o desempenho térmico desta.

Desta forma, a Tabela 24 apresenta uma classificação das paredes em ordem, da parede que deixa passar menor quantidade de calor para a que deixa passar maior QT , isto é, a que apresenta melhor desempenho térmico para a que possui o pior desempenho térmico. Nota-se que a P4 é a parede com melhor desempenho térmico, enquanto que a parede P1 é a parede com pior desempenho.

Tabela 24 – Classificação das paredes quanto ao desempenho térmico.

Classificação quanto ao desempenho térmico	Parede	QT x 10 ⁵ (J/ m ²)
1º	P4	-2,3763
2º	P7	-3,0749
3º	P3	-10,0376
4º	P5	-11,8288
5º	P6	-12,4613
6º	P8	-15,1100
7º	P2	-27,9031
8º	P1	-61,7278

4.4 Análise termo-econômica

De posse das informações referentes ao comportamento térmico de cada parede, basta conhecer o custo total de cada uma, para fazer a relação entre a parte térmica e a parte econômica.

4.4.1 Custo total de cada parede

A composição do custo total por metro quadrado de cada parede (Figura 48) foi realizada com base nos preços de insumos e de serviços do SINAPI (2009) – a maneira na

qual foi realizada a composição do custo total por metro quadrado de cada parede encontra-se no ANEXO C.

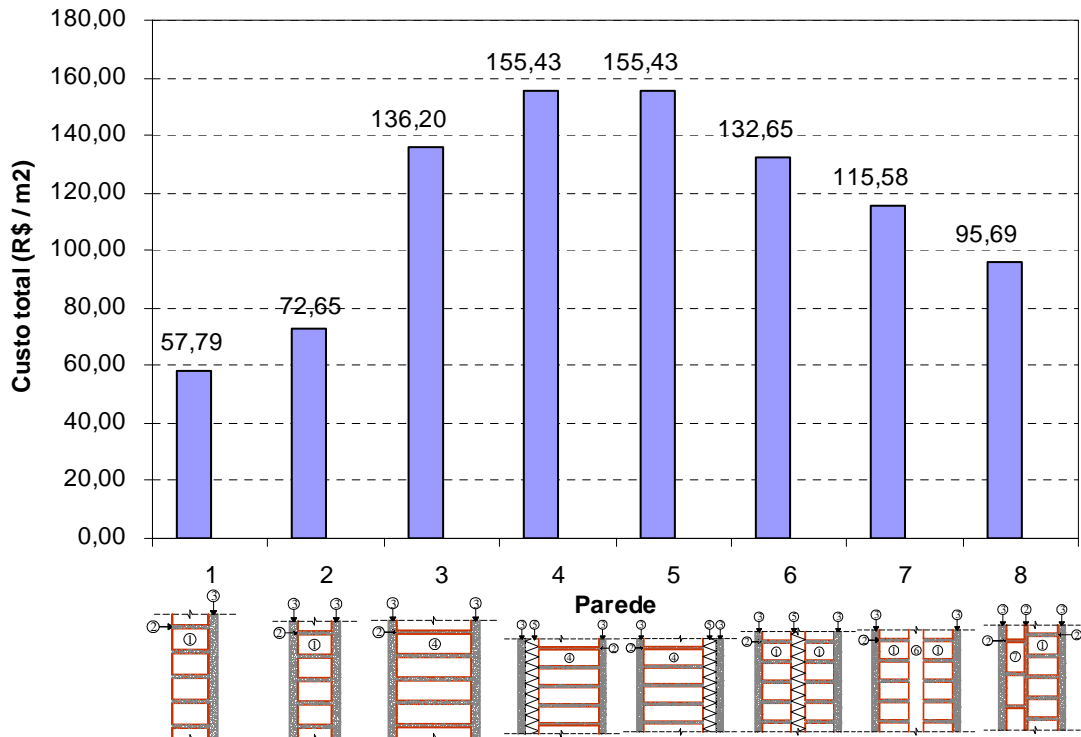


Fig. 48: Custo total por metro quadrado das paredes estudadas.

As paredes 4 e 5, paredes assentadas na maior dimensão do tijolo, apresentaram os maiores custos devido a necessidade de preparação (através da colocação de tela de estuque) do substrato (poliestireno expandido) para a aplicação do revestimento argamassado. Já as paredes 6 e 7, paredes duplas, apresentaram custos medianos, diferindo, entre si, no custo total somente devido a colocação de EPS no meio da parede 6.

Com relação às paredes com execução mais simples (sem poliestireno nem camada de ar), a parede 8 apresenta o maior custo relativo, porém no geral apresenta um preço entre as paredes com custo mediano e as que requerem menor investimento. Logo, as paredes 1 e 2 possuem os menores custos, sendo que a parede 1 por ter somente revestimento argamassado em uma face é a parede com menor preço dentre as estudadas.

Através dos valores referentes ao custo de cada parede, a Tabela 25 apresenta uma classificação das paredes em ordem, da parede mais econômica para a que requer maior investimento inicial.

Tabela 25 – Classificação das paredes quanto ao custo total.

Classificação quanto ao custo total	Parede	Custo Total (R\$/ m ²)
1º	P1	57,79
2º	P2	72,65
3º	P8	95,69
4º	P7	115,58
5º	P6	132,65
6º	P3	136,2
7º/8º	P4/P5	155,43

4.4.2 Relação termo-econômica

Aplicando-se à Equação (12) os valores correspondentes de quantidade de calor e custo total de cada parede, obtêm-se a relação termo-econômica (Figura 49).

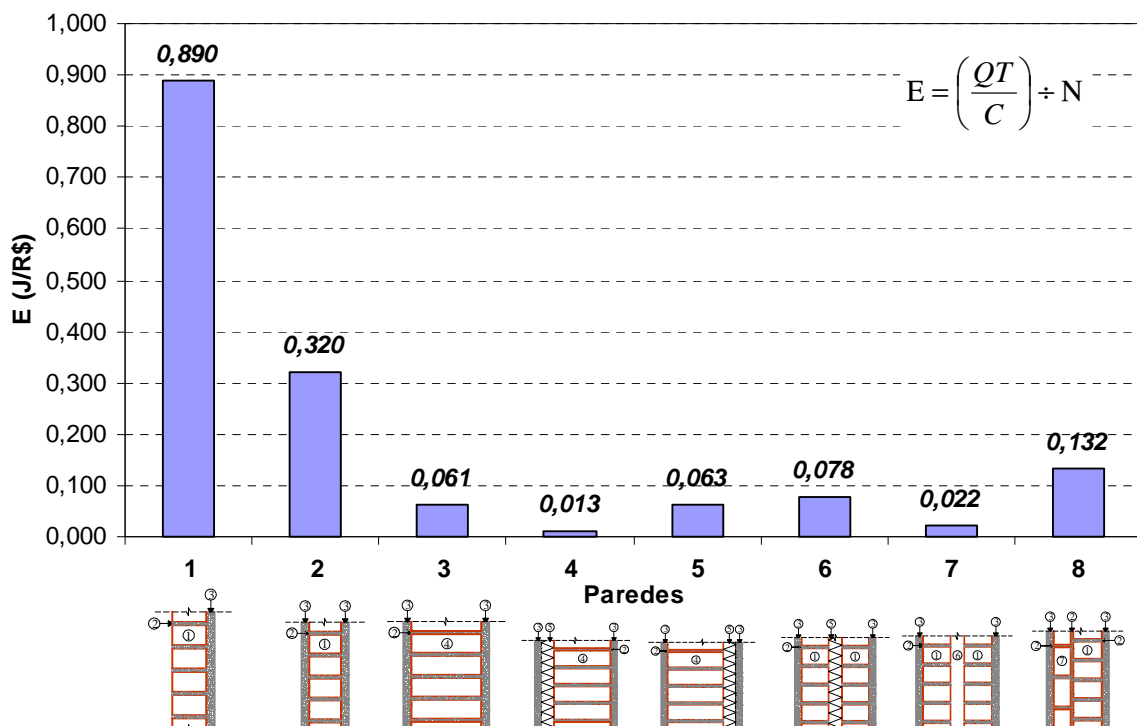


Fig. 49: Relação termo-econômica das paredes.

Pela análise do gráfico, fica evidente quais paredes tiveram o melhor desempenho térmico e econômico. A parede 4 é a parede com melhor desempenho, apesar de apresentar o maior custo total, o que pode ser justificado por esta apresentar o isolamento térmico pelo exterior, impedindo a entrada de calor já nas primeiras camadas. O segundo melhor desempenho termo-econômico é o da parede 7, justificada pela possível presença de convecção natural na camada de ar no interior da parede dupla. Na seqüência, as paredes 3 e 5 possuem índice E semelhante (neste caso, se tivesse que se escolher entre ambas as paredes, indicar-se-ia a parede 3 para lugares onde é necessário uma maior inércia térmica e a parede 5 para determinados casos onde o que importa é manter a temperatura interior constante - câmara fria, silos). E um pouco atrás dessas, completando o grupo de configurações com alto desempenho térmico e econômico, a parede 6 mostra-se como uma boa alternativa construtiva. Dessa forma, recomenda-se utilizar estas configurações de parede nas edificações para reduzir gastos com sistemas de calefação/refrigeração, melhorando o conforto térmico e a eficiência energética.

Pode-se classificar a parede 8, como sendo uma parede com um médio desempenho termo-econômico, ficando entre as paredes com alto desempenho termo-econômico e as paredes com baixo índice E . Esta parede surge como uma alternativa para situações em que a questão térmica não é tão relevante (depósitos, garagens, banheiros, etc.).

Já dentre as paredes de baixo desempenho está a parede 2, que é a configuração de parede mais utilizada na região. Por fim, a parede 1 possui o pior desempenho termo-econômico, mesmo sendo a parede com menor custo total. Não recomenda-se utilizar estas paredes para o clima do RS, pois causariam desconforto ao calor nos ocupantes das edificações.

Apesar dessas recomendações, cabe salientar que com este trabalho não pretende-se afirmar com absoluta certeza, que uma configuração de parede é a mais indicada e deveria ser utilizada em todos os locais e em todas as situações, pois para fazer isto seria necessário considerar uma série de outros fatores - dentre eles o clima da região, a finalidade (ocupação) da edificação - mas sim, destacar a importância que uma análise termo-econômica tem para apontar possíveis soluções construtivas que podem ser utilizadas, melhorando-se o desempenho energético das edificações. É prática comum na engenharia adotar soluções

construtivas de menor custo econômico possível, que requerem baixo investimento inicial, o que na maioria das vezes gera construções de baixa qualidade energética, prejudicando o meio ambiente, além de que no longo prazo, tais soluções construtivas de baixo custo inicial tornam-se mais onerosas que construções que levam em consideração outras variáveis, além da econômica.

Também é importante destacar que o presente trabalho somente torna-se relevante, quando, no projeto de uma edificação, leva-se em conta as demais variáveis intervenientes no ambiente construído. Dentre essas se destacam três grandes: as variáveis climáticas, as variáveis humanas e as variáveis arquitetônicas. Dentro de cada uma dessas variáveis existem várias outras. Este trabalho estuda apenas uma dessas outras variáveis, as paredes que estão inseridas no grupo dos fechamentos opacos, que por sua vez estão dentro do grupo das variáveis arquitetônicas. Percebe-se assim que a edificação tem de ser avaliada como um todo, já que suas partes dependem intrinsecamente umas das outras. Por exemplo, em uma parede com aberturas, de pouco adianta fazer um estudo de qual configuração de parede adotar, desta forma garantindo um bom desempenho neste fechamento opaco, enquanto que nos fechamentos transparentes empregam-se materiais de baixa qualidade, desta forma, resultando em ganhos de calor excessivos e conseqüentemente baixando o desempenho geral da edificação. É necessário mudarmos nossas técnicas construtivas e porque não nossa percepção de mundo. Só assim poderemos viver em um mundo mais sustentável.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões desta pesquisa, que teve como objetivo geral a análise da transferência de calor em paredes compostas por tijolos maciços. Ainda são feitas sugestões para trabalhos futuros, visando à continuidade da pesquisa.

5.1 Conclusões

Ao final deste trabalho, algumas conclusões podem ser feitas:

- O objetivo desta pesquisa foi alcançado, conseguiu-se avaliar configurações diversas de paredes compostas por diferentes tipos e disposições de materiais sob a ótica da térmica em edifícios.
- No geral a metodologia mostrou-se adequada; porém, para algumas paredes, o cálculo da difusividade térmica tal como foi apresentado no capítulo 3, devido às características peculiares das curvas de temperatura nas superfícies internas (pequena variação de T ao longo do tempo), tiveram de ser reavaliadas por tentativas baseadas no valor do coeficiente de correlação e/ou na distribuição de temperatura coerente com os dados experimentais.
- Através dos resultados dos ensaios experimentais, realizados na câmara térmica, foi possível medir a transferência de calor de diferentes configurações de paredes ao longo do tempo. Assim, a câmara térmica constitui-se em um instrumento eficaz de medição desse fenômeno.
- Os valores das difusividades térmicas dos materiais estudados encontram-se dentro da seguinte faixa de valores:

- Reboco: $3,5000$ a $5,5333 \times 10^{-7}$ (m/s^2);
- Tijolo: $3,4000$ a $6,8666 \times 10^{-7}$ (m/s^2);
- Poliestireno: $4,7555$ a $5,000 \times 10^{-7}$ (m/s^2);
- Ar: $250,0000 \times 10^{-7}$ (m/s^2).

➤ A avaliação das diferentes configurações de estruturas foi realizada através da relação entre o desempenho térmico e econômico de cada parede (Quadro 5).

Desempenho termo-econômico	Classificação geral	Parede	Configuração (cm)	Espessura Total (cm)
Alto	1º	P4	reboco (2,5)+EPS (5)+tijolo (23)+reboco (2,5)	33,0
	2º	P7	reboco (2,5)+tijolo (11,5)+ar (5,5)+tijolo (11,5)+reboco (2,5)	33,5
	3º	P3	reboco (2,5)+tijolo (23)+reboco (2,5)	28,0
	4º	P5	reboco (2,5)+tijolo (23)+EPS (5)+reboco (2,5)	33,0
	5º	P6	reboco (2,5)+tijolo (11,5)+EPS (5,5)+tijolo (11,5)+reboco (2,5)	33,5
Médio	6º	P8	reboco (2,5)+tijolo (16,5)+reboco (2,5)	21,5
Baixo	7º	P2	reboco (2,5)+tijolo (10)+reboco (2,5)	15,0
	8º	P1	tijolo (10,5)+reboco (2,5)	13,0

Quadro 5 - Desempenho termo-econômico.

Esta avaliação não dispensa a análise caso a caso de cada edificação - continua sendo necessário estudar as demais variáveis intervenientes no ambiente construído – mas através dela, destaca-se a importância que uma análise termo-econômica (e não só econômica) tem para apontar possíveis soluções construtivas que podem ser utilizadas, com o intuito de melhorar o desempenho energético das edificações. Também é importante frisar que, muitas vezes, edificações que adotam soluções construtivas que requerem baixo investimento inicial, no longo prazo consomem muito mais energia, conseqüentemente com custos financeiros muito maiores do que edificações mais eficientes energeticamente, que requerem um investimento inicial maior.

➤ O programa desenvolvido é um instrumento útil para a escolha de soluções construtivas, visando melhorar a eficiência energética das edificações, porque permite a simulação do desempenho térmico e econômico de outras configurações de paredes (além das já estudadas neste trabalho), sem a necessidade de construí-las, desde que se conheçam os valores das difusividades térmicas e dos custos dos materiais utilizados.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Determinar numericamente a capacidade calorífica volumétrica (ρC_p) e a condutividade térmica k ao invés da difusividade térmica α ;
- Fazer um estudo similar ao presente, mas aplicando-se diferentes cores de pintura nas paredes;
- Aplicar a metodologia deste trabalho para paredes compostas por outros materiais (bloco de concreto, tijolo furado, lã de vidro, madeira, materiais alternativos);
- Avaliar computacionalmente novas configurações de parede (inclusive com outros materiais) utilizando-se dos programas desenvolvidos;
- Complementar o trabalho estudando o comportamento térmico das paredes para a estação fria do ano, onde a temperatura interna é maior que a externa;
- Agregar conhecimentos sobre a influência da inércia térmica no desempenho energético das edificações tanto no verão quanto no inverno;
- Fazer uma estimativa do tempo de retorno do investimento inicial realizado em cada parede.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA REGIONAL DA ENERGIA E AMBIENTE DA REGIÃO AUTÔNOMA DA MADEIRA (PORTUGAL). **Projeto de Utilização Racional de Energia**. Disponível em: < <http://ure.aream.pt/> >. Acesso em: 01 maio 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado em estado solto: Determinação da massa unitária solta**. NBR 7251. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.

_____. **Agregados: Determinação da composição granulométrica**. NBR 7217. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.

_____. **Agregados: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. NBR 9776. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.

_____. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos: Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. NBR 13278. Rio de Janeiro, 1995. 2 p.

_____. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos: Determinação da resistência à compressão**. NBR 13279. Rio de Janeiro, 1995. 2 p.

_____. **Cal hidratada para argamassas**. NBR 7175. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.

_____. **Cimento Portland composto**. NBR 11578. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

_____. **Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. NBR 15220-1. Rio de Janeiro, 2005. 8 p.

_____. **Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor**

solar de elementos e componentes de edificações. NBR 15220-2. Rio de Janeiro, 2005. 34 p.

_____. **Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** NBR 15220-3. Rio de Janeiro, 2005. 30 p.

_____. **Tijolo maciço cerâmico para alvenaria: Forma e dimensões.** NBR 8041. Rio de Janeiro, 1983. 2 p.

_____. **Tijolo maciço cerâmico para alvenaria: Verificação da resistência à compressão.** NBR 6460. Rio de Janeiro, 1983. 3 p.

_____. **Tijolo maciço de solo-cimento: Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água.** NBR 8492. Rio de Janeiro, 1984. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO. Disponível em: < <http://www.abrapex.com.br/> >. Acesso em: 25 abr. 2009.

ASSOCIAÇÃO INDUSTRIAL DO POLIESTIRENO EXPANDIDO. Disponível em: < <http://www.acepe.pt/> >. Acesso em: 01 maio 2009.

CHLELA, F. et al. **A statistical method to improve the energy efficiency of an office building.** Building Simulation, 2007, pp 1756-1764.

COSTA, E.C.D. **Física aplicada à construção: conforto térmico.** 2. ed. São Paulo: Blücher, 1974. 259 p.

DEWITT, D.P.; INCROPERA, F.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa.** 5ª Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2003. 698 p. Tradução Carlos Alberto Biolchini da Silva. Departamento de Engenharia Mecânica, UERJ. Tradução de: Fundamentals of heat and mass transfer.

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DE TOMAR - INSTITUTO POLITÉCNICO DE TOMAR (PORTUGAL). Disponível em: < <http://www.estt.ipt.pt/> >. Acesso em: 18 abr. 2009.

EUROACE. **Towards Energy Efficient Buildings in Europe**. Final report June, 2004.

GASPARINI, R.R. **Modelagem da transferência de calor combinada por condução e radiação em isolantes térmicos de edificações**. 2005. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/> >. Acesso em: 23 abr. 2009.

INCOTERM – Indústria de termômetros. **Especificação técnica do equipamento**. 2009.

ITARD, L, MEIJER, F. **Towards a Sustainable Northern European Housing Stock: Figures, Facts and Future**. IOS Press, 2008, ISBN: 978-1-58603-977-6.

KWOK , A. G.; RAJKOVICH, N. B. **Addressing climate change in comfort standards**. Building and Environment 45, 2009, pp 18–22.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997. 188 p.

MASCARÓ, J.L.; MASCARÓ, L. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. 2ª edição. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto Editores, 1992. 134 p.

MICHELENA - Climatização. Disponível em: < <http://www.michelena.com.br/> >. Acesso em: 22 abr. 2009.

NETO, A. J. S.; NETO, F. D. M. **Problemas Inversos: conceitos fundamentais e aplicações**. Rio de Janeiro: Ed. UERJ, 2005.

ÖZİŞİK, M.N. **Heat Conduction**. 2nd. ed. New York: John Wiley & Sons, 1993. 712 p.

ÖZİŞİK, M.N; ORLANDE, H.R.B. **Inverse Heat Transfer: Fundamentals and applications**. New York: Taylor & Francis, 2000. 330 p.

PAPST, A.L. **Uso de inércia térmica no clima subtropical: estudo de caso em Florianópolis - SC**. 1999. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: < <http://www.procel.gov.br/> >. Acesso em: 19 abr. 2009.

ROCHA, A.M. **Avaliação das condições de conforto térmico ao calor em edificações habitacionais multipavimentadas na cidade de Ijuí - RS**. 2004. 77 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2004.

ROMERO, M.A.B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: PW Editores, 1988. 128 p.

SANTIN, O. G.; ITARD, L; VISSCHER, H. **The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock**. Energy and Buildings 41, 2009, pp 1223–1232.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DO RS. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Disponível em: < <http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=340> >. Acesso em: 23 abr. 2009.

SISTEMA NACIONAL DE PREÇOS E ÍNDICES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL. **Relatórios de insumos e de serviços por Estado**. Disponível em: < <http://www1.caixa.gov.br/download/index.asp>>. Acesso em: 09 out. 2009.

SPERB, Márcia Roing. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000.

ANEXO A

Temperaturas lidas e corrigidas dos ensaios pilotos

tempo (h) /sensor	ENSAIO 01 - TEMPERATURAS LIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	12,4	12,3	12,7	12,7	12,8	12,4	12,9
00:10	12,0	12,2	12,9	12,8	12,9	12,4	14,2
00:20	12,9	12,2	12,0	12,9	12,2	12,9	19,5
00:30	12,2	12,4	12,3	12,5	12,6	13,8	20,7
01:00	12,6	12,8	13,7	13,4	14,9	15,6	24,7
01:30	13,2	12,7	13,6	14,3	15,5	16,9	26,8
02:00	13,9	13,4	14,9	15,7	16,8	17,7	27,6
02:30	14,4	14,0	15,5	16,6	18,5	19,7	35,4
03:00	14,5	14,9	16,6	17,3	20,5	21,5	36,5
03:30	15,7	15,4	17,4	19,8	22,8	23,4	38,5
04:00	16,9	16,4	18,6	20,6	23,7	24,8	40,5
04:30	16,7	17,2	20,1	21,6	25,6	27,5	50,7
05:00	17,5	18,4	21,5	23,4	28,6	29,4	52,5
05:30	17,9	19,9	22,3	25,3	30,8	31,5	54,6
06:00	18,0	20,7	24,3	26,9	31,3	32,5	55,0
06:30	19,5	21,6	25,3	28,7	33,4	34,5	61,3
07:00	20,0	22,3	26,5	30,3	35,4	36,5	63,3
07:30	20,2	23,5	28,6	31,8	37,9	38,3	65,7
08:00	21,5	24,8	29,8	32,6	38,9	39,8	66,2
08:30	21,2	25,5	30,8	34,0	39,7	39,9	61,5
09:00	22,7	26,4	31,5	34,7	39,3	40,5	61,4
09:30	22,4	26,7	31,8	34,9	39,7	40,8	61,9
10:00	22,2	26,3	31,8	35,5	39,8	40,7	62,2
10:30	22,5	27,6	32,8	35,1	39,8	39,0	53,4
11:00	22,1	27,3	31,8	34,5	37,9	38,2	53,7
11:30	21,7	26,1	31,4	34,8	37,1	37,8	53,3
12:00	22,1	26,2	31,6	34,0	37,5	37,5	53,7
12:30	21,0	26,2	30,8	33,2	35,6	35,4	41,6
13:00	21,5	25,7	30,4	32,4	33,0	33,2	40,6
13:30	21,7	25,7	29,1	31,0	32,6	32,1	39,7
14:00	20,5	24,0	28,2	30,7	31,4	31,3	38,8
14:30	20,4	23,5	27,0	29,5	29,5	29,5	29,1
15:00	20,6	23,4	26,6	27,4	27,4	27,5	27,0
15:30	19,5	22,6	25,6	26,5	26,3	26,5	25,1
16:00	19,6	21,0	24,4	25,4	25,2	25,4	24,0

tempo (h) /sensor	ENSAIO 01 - TEMPERATURAS CORRIGIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	13,0	13,1	12,2	13,1	13,5	12,7	13,5
00:10	12,6	13,0	12,4	13,2	13,6	12,7	14,8
00:20	13,5	13,0	11,4	13,3	12,9	13,2	20,1
00:30	12,8	13,2	11,7	12,9	13,3	14,1	21,3
01:00	13,2	13,7	13,2	13,8	15,6	15,9	25,3
01:30	13,8	13,6	13,1	14,7	16,2	17,2	27,4
02:00	14,5	14,3	14,4	16,1	17,5	18,0	28,2
02:30	15,0	14,9	15,0	17,0	19,2	20,0	36,1
03:00	15,1	15,8	16,1	17,7	21,2	21,8	37,2
03:30	16,3	16,3	16,9	20,2	23,5	23,8	39,2
04:00	17,5	17,3	18,1	21,0	24,4	25,2	41,2
04:30	17,3	18,1	19,6	22,0	26,3	27,9	51,4
05:00	18,1	19,3	21,0	23,9	29,3	29,8	53,2
05:30	18,5	20,9	21,8	25,8	31,5	31,9	55,4
06:00	18,6	21,7	23,9	27,4	32,0	32,9	55,8
06:30	20,1	22,6	24,9	29,2	34,1	34,9	62,1
07:00	20,6	23,3	26,1	30,8	36,1	37,0	64,1
07:30	20,8	24,5	28,2	32,3	38,6	38,8	66,5
08:00	22,1	25,8	29,4	33,1	39,6	40,3	67,0
08:30	21,8	26,5	30,4	34,5	40,4	40,4	62,3
09:00	23,3	27,4	31,1	35,2	40,0	41,0	62,2
09:30	23,0	27,8	31,4	35,5	40,4	41,3	62,7
10:00	22,8	27,3	31,4	36,1	40,5	41,2	63,0
10:30	23,1	28,7	32,5	35,7	40,5	39,5	54,2
11:00	22,7	28,4	31,4	35,0	38,6	38,7	54,5
11:30	22,3	27,1	31,0	35,3	37,8	38,3	54,1
12:00	22,7	27,2	31,2	34,5	38,2	38,0	54,5
12:30	21,6	27,2	30,4	33,7	36,3	35,9	42,3
13:00	22,1	26,7	30,0	32,9	33,7	33,6	41,3
13:30	22,3	26,7	28,7	31,5	33,3	32,5	40,4
14:00	21,1	25,0	27,8	31,2	32,1	31,7	39,5
14:30	21,0	24,5	26,6	30,0	30,2	29,9	29,8
15:00	21,2	24,4	26,2	27,9	28,1	27,9	27,6
15:30	20,1	23,6	25,2	27,0	27,0	26,9	25,7
16:00	20,2	22,0	24,0	25,9	25,9	25,8	24,6

tempo (h) /sensor	ENSAIO 02 - TEMPERATURAS LIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	16,1	15,6	16,0	16,3	15,4	16,0	16,2
00:10	15,5	15,4	16,0	16,3	15,7	16,8	20,6
00:20	16,0	15,6	16,1	16,6	16,8	16,8	22,7
00:30	16,2	15,4	16,4	16,2	16,9	17,5	23,6
01:00	16,5	15,9	16,4	16,3	17,4	18,7	25,9
01:30	16,3	16,8	17,9	17,3	18,5	19,3	27,5
02:00	17,4	16,7	17,6	18,8	19,3	20,5	28,9
02:30	17,8	17,7	18,8	19,5	21,1	22,7	37,8
03:00	18,1	17,4	19,5	20,9	23,9	24,9	40,2
03:30	18,3	18,4	20,5	22,4	24,6	25,5	41,8
04:00	19,5	19,8	21,4	23,4	26,3	27,5	43,4
04:30	19,9	20,2	22,5	24,6	28,8	30,0	52,4
05:00	20,3	21,7	24,5	26,4	31,4	32,5	54,9
05:30	21,3	22,4	25,7	28,7	32,3	34,1	55,7
06:00	21,9	23,9	27,5	29,7	34,1	35,2	56,4
06:30	22,0	24,2	28,2	31,7	36,5	38,2	66,6
07:00	23,1	25,3	29,2	32,8	39,1	40,7	69,3
07:30	23,3	26,9	31,6	34,9	41,5	42,7	69,2
08:00	24,2	27,9	32,4	36,6	41,2	42,2	69,7
08:30	24,6	28,4	33,2	37,1	42,0	42,5	65,3
09:00	25,5	28,6	34,3	37,6	42,5	43,2	65,7
09:30	24,3	29,8	34,7	38,6	42,8	43,2	65,6
10:00	25,0	29,2	34,2	38,9	42,8	43,2	65,7
10:30	25,7	29,3	35,2	38,9	42,5	42,6	57,0
11:00	25,3	29,7	34,1	37,5	41,4	41,5	57,7
11:30	25,6	29,1	34,3	37,4	40,4	41,0	57,8
12:00	24,5	29,2	34,6	37,9	40,0	40,9	57,5
12:30	24,2	28,9	33,6	36,3	39,0	39,5	48,2
13:00	24,7	28,9	33,2	35,0	37,5	37,0	46,4
13:30	24,5	28,8	32,0	34,0	36,5	36,0	44,3
14:00	23,4	27,0	31,6	33,5	34,6	35,0	43,2
14:30	23,4	26,2	30,0	32,1	32,9	32,9	32,8
15:00	23,7	26,4	29,3	31,0	31,2	31,3	30,5
15:30	23,1	25,0	28,1	29,3	29,1	29,6	29,2
16:00	22,3	24,2	27,6	28,2	28,5	28,4	27,2

tempo (h) /sensor	ENSAIO 02 - TEMPERATURAS CORRIGIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	16,7	16,5	15,5	16,7	16,1	16,3	16,8
00:10	16,1	16,3	15,5	16,7	16,4	17,1	21,2
00:20	16,6	16,5	15,6	17,0	17,5	17,1	23,3
00:30	16,8	16,3	15,9	16,6	17,6	17,8	24,2
01:00	17,1	16,8	15,9	16,7	18,1	19,0	26,5
01:30	16,9	17,7	17,4	17,7	19,2	19,6	28,1
02:00	18,0	17,6	17,1	19,2	20,0	20,8	29,6
02:30	18,4	18,6	18,3	19,9	21,8	23,0	38,5
03:00	18,7	18,3	19,0	21,3	24,6	25,3	40,9
03:30	18,9	19,3	20,0	22,8	25,3	25,9	42,5
04:00	20,1	20,8	20,9	23,9	27,0	27,9	44,1
04:30	20,5	21,2	22,1	25,1	29,5	30,4	53,1
05:00	20,9	22,7	24,1	26,9	32,1	32,9	55,7
05:30	21,9	23,4	25,3	29,2	33,0	34,5	56,5
06:00	22,5	24,9	27,1	30,2	34,8	35,7	57,2
06:30	22,6	25,2	27,8	32,2	37,2	38,7	67,4
07:00	23,7	26,3	28,8	33,3	39,8	41,2	70,1
07:30	23,9	28,0	31,2	35,5	42,1	43,2	70,0
08:00	24,8	29,0	32,1	37,2	41,8	42,7	70,5
08:30	25,2	29,5	32,9	37,7	42,6	43,0	66,1
09:00	26,1	29,7	34,0	38,2	43,1	43,7	66,5
09:30	24,9	30,9	34,4	39,2	43,4	43,7	66,4
10:00	25,6	30,3	33,9	39,5	43,4	43,7	66,5
10:30	26,3	30,4	34,9	39,5	43,1	43,1	57,8
11:00	25,9	30,8	33,8	38,1	42,0	42,0	58,5
11:30	26,2	30,2	34,0	38,0	41,1	41,5	58,6
12:00	25,1	30,3	34,3	38,5	40,7	41,4	58,3
12:30	24,8	30,0	33,3	36,9	39,7	40,0	48,9
13:00	25,3	30,0	32,9	35,6	38,2	37,5	47,1
13:30	25,1	29,9	31,6	34,5	37,2	36,5	45,0
14:00	24,0	28,1	31,2	34,0	35,3	35,5	43,9
14:30	24,0	27,2	29,6	32,6	33,6	33,3	33,5
15:00	24,3	27,4	28,9	31,5	31,9	31,7	31,2
15:30	23,7	26,0	27,7	29,8	29,8	30,0	29,9
16:00	22,9	25,2	27,2	28,7	29,2	28,8	27,8

ANEXO B

Temperaturas lidas e corrigidas dos ensaios experimentais

tempo (h) /sensor	PAREDE 1 - TEMPERATURAS LIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	15,4	15,0	15,4	15,4	15,2	15,3	15,0
00:30	15,3	15,7	16,2	16,4	16,7	17,3	29,2
01:00	16,2	15,7	16,7	16,9	17,4	18,5	30,4
01:30	16,4	16,4	17,5	17,7	18,7	19,7	32,8
02:00	17,4	17,3	18,5	18,5	19,6	20,8	32,5
02:30	17,2	18,6	19,3	19,5	20,7	22,9	40,9
03:00	18,6	19,2	20,2	21,8	22,5	23,7	41,9
03:30	19,8	19,7	21,8	22,5	23,4	24,5	42,4
04:00	19,3	20,8	22,4	23,5	24,2	26,4	45,0
04:30	20,5	21,8	23,8	24,5	25,6	28,8	54,5
05:00	21,6	22,5	24,8	26,5	27,5	30,7	55,8
05:30	22,8	24,8	25,3	27,4	29,3	31,5	55,5
06:00	22,9	25,2	26,8	29,0	30,3	32,6	56,6
06:30	23,3	26,6	27,9	30,9	31,7	34,5	61,9
07:00	24,4	27,5	29,1	31,9	33,2	35,6	62,7
07:30	24,7	28,4	30,2	32,4	34,5	36,7	64,3
08:00	25,3	29,6	31,4	33,8	35,7	37,3	65,1
08:30	26,3	29,4	31,8	34,9	36,0	38,2	61,9
09:00	26,1	30,4	32,2	35,9	36,3	38,9	62,2
09:30	26,0	30,4	32,0	35,8	36,0	39,3	61,4
10:00	26,2	31,9	32,7	35,2	36,9	39,8	61,9
10:30	26,7	31,7	33,7	35,3	36,5	38,6	54,2
11:00	26,5	31,9	32,6	35,2	36,5	37,3	52,8
11:30	26,3	30,2	32,7	34,7	35,8	36,9	53,6
12:00	26,6	30,0	32,9	34,9	35,3	36,7	53,4
12:30	26,7	30,2	31,9	33,1	34,0	35,4	43,3
13:00	26,2	29,7	31,2	32,2	33,2	34,3	41,1
13:30	25,0	28,3	30,5	32,1	32,7	32,9	41,4
14:00	24,3	27,9	29,0	31,5	31,4	32,0	41,5
14:30	24,1	27,7	28,7	30,2	30,6	30,0	28,8
15:00	23,3	26,6	27,2	28,3	28,1	28,5	26,5
15:30	23,8	25,5	26,5	27,4	27,5	27,0	25,0
16:00	22,3	24,1	25,0	26,3	26,5	26,6	24,0

tempo (h) /sensor	PAREDE 1 - TEMPERATURAS CORRIGIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	16,0	15,9	16,2	15,8	15,9	15,6	15,6
00:30	15,9	16,6	17,0	16,8	17,4	17,6	29,9
01:00	16,8	16,6	17,6	17,3	18,1	18,8	31,1
01:30	17,0	17,3	18,4	18,1	19,4	20,0	33,5
02:00	18,0	18,2	19,4	18,9	20,3	21,1	33,2
02:30	17,8	19,5	20,2	19,9	21,4	23,3	41,6
03:00	19,2	20,1	21,1	22,2	23,2	24,1	42,6
03:30	20,4	20,7	22,7	22,9	24,1	24,9	43,1
04:00	19,9	21,8	23,3	24,0	24,9	26,8	45,7
04:30	21,1	22,8	24,7	25,0	26,3	29,2	55,3
05:00	22,2	23,5	25,7	27,0	28,2	31,1	56,6
05:30	23,4	25,8	26,2	27,9	30,0	31,9	56,3
06:00	23,5	26,2	27,8	29,5	31,0	33,0	57,4
06:30	23,9	27,7	28,9	31,4	32,4	34,9	62,7
07:00	25,0	28,6	30,1	32,4	33,9	36,1	63,5
07:30	25,3	29,5	31,2	32,9	35,2	37,2	65,1
08:00	25,9	30,7	32,4	34,3	36,4	37,8	65,9
08:30	26,9	30,5	32,8	35,5	36,7	38,7	62,7
09:00	26,7	31,5	33,2	36,5	37,0	39,4	63,0
09:30	26,6	31,5	33,0	36,4	36,7	39,8	62,2
10:00	26,8	33,0	33,7	35,8	37,6	40,3	62,7
10:30	27,3	32,8	34,7	35,9	37,2	39,1	55,0
11:00	27,1	33,0	33,6	35,8	37,2	37,8	53,5
11:30	26,9	31,3	33,7	35,2	36,5	37,4	54,4
12:00	27,2	31,1	33,9	35,5	36,0	37,2	54,2
12:30	27,3	31,3	32,9	33,6	34,7	35,9	44,0
13:00	26,8	30,8	32,2	32,7	33,9	34,7	41,8
13:30	25,6	29,4	31,5	32,6	33,4	33,3	42,1
14:00	24,9	29,0	30,0	32,0	32,1	32,4	42,2
14:30	24,7	28,8	29,7	30,7	31,3	30,4	29,5
15:00	23,9	27,7	28,2	28,8	28,8	28,9	27,1
15:30	24,4	26,5	27,5	27,9	28,2	27,4	25,6
16:00	22,9	25,1	25,9	26,8	27,2	27,0	24,6

tempo (h) /sensor	PAREDE 2 - TEMPERATURAS LIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	19,7	18,5	19,0	19,7	19,5	19,7	19,9
00:30	19,7	18,7	19,5	20,0	20,4	22,4	30,9
01:00	19,5	19,0	20,3	20,6	21,4	24,6	32,4
01:30	20,2	19,8	21,3	22,8	22,5	25,7	34,7
02:00	20,9	20,4	22,5	23,0	23,6	27,2	36,7
02:30	21,6	21,5	23,3	24,9	25,5	30,8	42,3
03:00	22,7	22,2	24,6	25,7	26,5	32,4	44,8
03:30	22,7	23,5	25,4	27,3	28,5	33,8	45,9
04:00	23,4	24,5	26,3	28,5	29,5	35,7	48,4
04:30	24,7	24,8	27,8	29,7	31,4	38,9	54,7
05:00	24,4	25,7	28,4	31,5	32,6	40,4	56,5
05:30	25,4	26,8	30,8	32,8	34,9	42,8	57,0
06:00	26,8	27,7	31,2	34,3	35,5	43,2	58,0
06:30	27,3	28,5	32,6	35,8	37,5	45,4	62,4
07:00	28,0	29,3	33,8	36,5	38,5	47,2	64,5
07:30	28,5	30,3	35,6	37,7	39,3	49,2	65,1
08:00	29,6	31,8	36,9	39,9	41,2	50,3	65,2
08:30	29,8	32,9	37,4	40,3	42,5	51,8	67,4
09:00	30,7	32,5	37,4	41,5	42,4	52,4	68,1
09:30	30,8	33,4	38,6	42,2	43,8	53,3	68,3
10:00	31,0	33,3	39,2	42,4	44,8	54,0	69,1
10:30	31,7	34,5	39,8	43,5	44,0	53,4	63,5
11:00	31,4	34,4	40,7	43,3	44,4	52,3	61,5
11:30	31,6	34,2	39,9	42,1	43,6	51,8	61,7
12:00	31,3	34,5	39,0	42,0	43,4	51,1	60,7
12:30	31,4	34,5	39,6	42,6	42,4	48,1	52,6
13:00	30,7	33,4	38,4	41,3	41,4	46,6	51,5
13:30	30,2	33,3	37,6	40,0	40,2	45,0	50,9
14:00	29,6	32,4	37,1	39,5	39,7	45,0	50,3
14:30	29,5	32,4	36,2	38,4	38,0	41,4	37,1
15:00	28,4	31,6	35,6	36,3	35,6	38,2	34,4
15:30	27,5	30,5	33,2	34,0	34,4	35,5	32,1
16:00	26,9	28,7	32,3	33,2	32,4	33,0	31,5

tempo (h) /sensor	PAREDE 2 - TEMPERATURAS CORRIGIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	20,3	19,4	19,9	20,1	20,2	20,0	20,5
00:30	20,3	19,6	20,4	20,4	21,1	22,7	31,6
01:00	20,1	19,9	21,2	21,0	22,1	25,0	33,1
01:30	20,8	20,8	22,2	23,3	23,2	26,1	35,4
02:00	21,5	21,4	23,4	23,5	24,3	27,6	37,4
02:30	22,2	22,5	24,2	25,4	26,2	31,2	43,0
03:00	23,3	23,2	25,5	26,2	27,2	32,8	45,5
03:30	23,3	24,5	26,3	27,8	29,2	34,2	46,6
04:00	24,0	25,5	27,3	29,0	30,2	36,2	49,1
04:30	25,3	25,8	28,8	30,2	32,1	39,4	55,5
05:00	25,0	26,7	29,4	32,0	33,3	40,9	57,3
05:30	26,0	27,9	31,8	33,3	35,6	43,3	57,8
06:00	27,4	28,8	32,2	34,8	36,2	43,7	58,8
06:30	27,9	29,6	33,6	36,4	38,2	45,9	63,2
07:00	28,6	30,4	34,8	37,1	39,2	47,8	65,3
07:30	29,1	31,4	36,6	38,3	40,0	49,8	65,9
08:00	30,2	32,9	38,0	40,5	41,8	50,9	66,0
08:30	30,4	34,0	38,5	40,9	43,1	52,4	68,2
09:00	31,3	33,6	38,5	42,1	43,0	53,0	68,9
09:30	31,4	34,6	39,7	42,8	44,4	53,9	69,1
10:00	31,6	34,4	40,3	43,0	45,4	54,6	69,9
10:30	32,3	35,7	40,9	44,1	44,6	54,0	64,3
11:00	32,0	35,6	41,8	43,9	45,0	52,9	62,3
11:30	32,2	35,4	41,0	42,7	44,2	52,4	62,5
12:00	31,9	35,7	40,1	42,6	44,0	51,7	61,5
12:30	32,0	35,7	40,7	43,2	43,0	48,7	53,3
13:00	31,3	34,6	39,5	41,9	42,0	47,1	52,2
13:30	30,8	34,4	38,7	40,6	40,9	45,5	51,6
14:00	30,2	33,5	38,2	40,1	40,4	45,5	51,0
14:30	30,1	33,5	37,3	39,0	38,7	41,9	37,8
15:00	29,0	32,7	36,6	36,9	36,3	38,7	35,1
15:30	28,1	31,6	34,2	34,5	35,1	36,0	32,8
16:00	27,5	29,8	33,3	33,7	33,1	33,4	32,2

tempo (h) /sensor	PAREDE 3 - TEMPERATURAS LIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	17,1	17,3	19,2	19,9	18,0	19,6	18,0
00:30	17,6	17,0	19,1	19,0	19,6	20,6	31,9
01:00	18,4	17,9	18,7	19,5	19,9	22,7	34,0
01:30	18,3	17,9	19,1	19,4	20,2	23,5	35,5
02:00	18,1	18,0	19,4	19,1	21,3	24,2	37,7
02:30	18,6	18,4	19,2	20,9	22,7	26,8	47,6
03:00	19,7	18,7	19,4	20,7	24,3	28,9	48,6
03:30	19,7	18,5	20,2	21,5	25,9	29,8	50,0
04:00	19,7	18,9	20,7	22,6	26,4	31,2	53,7
04:30	20,4	19,5	21,6	23,6	28,4	33,7	62,5
05:00	20,7	19,3	21,8	24,7	30,3	35,9	65,8
05:30	20,3	20,4	22,7	25,5	32,1	37,5	65,7
06:00	21,7	20,4	23,5	26,9	33,4	38,5	65,8
06:30	21,6	21,3	24,5	27,2	34,7	40,5	66,2
07:00	22,3	21,6	25,5	28,3	35,4	40,0	62,6
07:30	22,9	22,6	25,8	28,2	36,6	40,9	65,3
08:00	23,7	22,7	26,4	29,3	37,6	41,9	68,1
08:30	23,9	23,8	27,4	30,3	38,0	41,3	65,8
09:00	23,3	24,2	27,6	30,9	38,6	42,1	64,8
09:30	24,4	24,4	28,4	31,1	39,9	41,5	59,3
10:00	24,2	24,7	29,7	31,5	39,3	41,0	59,5
10:30	24,7	25,9	29,4	32,3	39,5	40,0	53,1
11:00	24,7	25,9	29,4	32,2	38,4	39,5	52,1
11:30	24,9	25,2	30,8	32,5	38,4	38,4	52,6
12:00	24,0	25,0	30,6	32,5	37,4	38,5	52,1
12:30	24,0	25,5	30,2	32,5	37,4	37,2	44,5
13:00	24,7	25,0	30,4	32,9	36,2	36,2	43,0
13:30	24,9	25,4	30,2	32,7	35,7	35,4	43,6
14:00	24,7	25,2	30,6	31,4	35,2	35,2	42,5
14:30	24,7	25,8	30,7	31,3	34,2	33,4	32,8
15:00	24,9	25,0	29,7	31,6	33,6	32,6	31,2
15:30	24,7	25,4	29,0	30,0	32,5	31,7	30,7
16:00	24,1	25,7	29,0	30,1	31,2	30,5	29,3

tempo (h) /sensor	PAREDE 3 - TEMPERATURAS CORRIGIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	17,7	18,2	20,1	20,3	18,7	19,9	18,6
00:30	18,2	17,9	20,0	19,4	20,3	20,9	32,6
01:00	19,0	18,8	19,6	19,9	20,6	23,0	34,7
01:30	18,9	18,8	20,0	19,8	20,9	23,9	36,2
02:00	18,7	18,9	20,3	19,5	22,0	24,6	38,4
02:30	19,2	19,3	20,1	21,3	23,4	27,2	48,3
03:00	20,3	19,6	20,3	21,1	25,0	29,3	49,3
03:30	20,3	19,4	21,1	21,9	26,6	30,2	50,7
04:00	20,3	19,8	21,6	23,0	27,1	31,6	54,5
04:30	21,0	20,4	22,5	24,1	29,1	34,1	63,3
05:00	21,3	20,2	22,7	25,2	31,0	36,4	66,6
05:30	20,9	21,4	23,6	26,0	32,8	38,0	66,5
06:00	22,3	21,4	24,4	27,4	34,1	39,0	66,6
06:30	22,2	22,3	25,4	27,7	35,4	41,0	67,0
07:00	22,9	22,6	26,4	28,8	36,1	40,5	63,4
07:30	23,5	23,6	26,7	28,7	37,3	41,4	66,1
08:00	24,3	23,7	27,4	29,8	38,3	42,4	68,9
08:30	24,5	24,8	28,4	30,8	38,7	41,8	66,6
09:00	23,9	25,2	28,6	31,4	39,3	42,6	65,6
09:30	25,0	25,4	29,4	31,6	40,6	42,0	60,1
10:00	24,8	25,7	30,7	32,0	40,0	41,5	60,3
10:30	25,3	26,9	30,4	32,8	40,2	40,5	53,9
11:00	25,3	26,9	30,4	32,7	39,1	40,0	52,8
11:30	25,5	26,2	31,8	33,0	39,1	38,9	53,3
12:00	24,6	26,0	31,6	33,0	38,1	39,0	52,8
12:30	24,6	26,5	31,2	33,0	38,1	37,7	45,2
13:00	25,3	26,0	31,4	33,4	36,9	36,7	43,7
13:30	25,5	26,4	31,2	33,2	36,4	35,9	44,3
14:00	25,3	26,2	31,6	31,9	35,9	35,7	43,2
14:30	25,3	26,8	31,7	31,8	34,9	33,8	33,5
15:00	25,5	26,0	30,7	32,1	34,3	33,0	31,9
15:30	25,3	26,4	30,0	30,5	33,2	32,1	31,4
16:00	24,7	26,7	30,0	30,6	31,9	30,9	30,0

tempo (h) /sensor	PAREDE 4 - TEMPERATURAS LIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	19,4	19,9	20,0	20,9	20,7	20,7	20,1
00:30	19,8	19,4	20,7	20,4	21,8	23,4	35,6
01:00	20,3	19,4	20,5	20,0	22,4	27,9	40,8
01:30	20,9	19,5	20,5	20,0	23,2	30,5	45,0
02:00	20,3	19,9	20,9	20,1	23,6	33,4	47,9
02:30	21,3	20,4	20,4	20,5	25,9	37,6	59,5
03:00	21,2	20,8	20,1	20,3	27,4	42,6	64,6
03:30	22,7	20,2	20,0	21,2	28,7	45,9	67,1
04:00	22,4	20,1	21,2	21,5	27,5	41,1	48,4
04:30	22,2	20,9	21,6	21,5	27,3	44,6	57,5
05:00	22,3	21,0	21,9	21,5	28,2	43,3	58,6
05:30	22,9	21,5	21,5	21,9	29,5	42,6	58,2
06:00	23,7	21,7	22,0	22,0	29,0	42,9	59,3
06:30	23,5	22,1	22,5	22,4	30,2	46,8	62,2
07:00	23,3	22,5	22,2	22,8	30,7	48,4	63,7
07:30	23,3	22,3	22,7	22,4	31,3	49,7	64,3
08:00	23,9	22,5	22,3	22,9	31,4	50,7	65,1
08:30	23,5	22,1	23,7	23,5	31,0	49,5	62,4
09:00	24,8	22,5	23,1	23,0	31,0	49,2	62,2
09:30	24,0	22,4	23,5	23,4	31,7	49,2	61,6
10:00	23,5	22,0	23,7	23,9	32,7	48,9	62,2
10:30	23,0	22,4	23,7	24,0	31,7	46,0	57,5
11:00	23,4	22,7	24,4	24,2	31,7	44,5	56,0
11:30	23,4	22,2	24,8	24,0	30,4	43,8	55,6
12:00	22,4	22,7	24,2	24,7	30,0	42,4	56,7
12:30	22,4	22,0	24,5	24,2	29,4	39,2	48,1
13:00	22,0	22,4	24,6	24,7	28,9	37,3	46,6
13:30	22,2	22,4	24,6	24,8	28,1	36,4	44,7
14:00	22,7	22,7	24,5	24,9	28,3	35,7	43,8
14:30	22,3	22,7	24,4	24,8	27,1	31,9	32,4
15:00	22,8	22,5	24,3	24,5	26,7	29,1	29,1
15:30	22,1	22,1	24,9	24,2	25,5	27,0	27,1
16:00	21,5	21,2	24,6	24,7	24,2	25,9	23,4

tempo (h) /sensor	PAREDE 4 - TEMPERATURAS CORRIGIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	20,0	20,9	20,9	21,3	21,4	21,0	20,7
00:30	20,4	20,3	21,6	20,8	22,5	23,8	36,3
01:00	20,9	20,3	21,4	20,4	23,1	28,3	41,5
01:30	21,5	20,4	21,4	20,4	23,9	30,9	45,7
02:00	20,9	20,9	21,8	20,5	24,3	33,8	48,6
02:30	21,9	21,4	21,3	20,9	26,6	38,1	60,3
03:00	21,8	21,8	21,0	20,7	28,1	43,1	65,4
03:30	23,3	21,2	20,9	21,6	29,4	46,4	67,9
04:00	23,0	21,1	22,1	21,9	28,2	41,6	49,1
04:30	22,8	21,9	22,5	21,9	28,0	45,1	58,3
05:00	22,9	22,0	22,8	21,9	28,9	43,8	59,4
05:30	23,5	22,5	22,4	22,3	30,2	43,1	59,0
06:00	24,3	22,7	22,9	22,4	29,7	43,4	60,1
06:30	24,1	23,1	23,4	22,8	30,9	47,3	63,0
07:00	23,9	23,5	23,1	23,3	31,4	49,0	64,5
07:30	23,9	23,3	23,6	22,8	32,0	50,3	65,1
08:00	24,5	23,5	23,2	23,4	32,1	51,3	65,9
08:30	24,1	23,1	24,6	24,0	31,7	50,1	63,2
09:00	25,4	23,5	24,0	23,5	31,7	49,8	63,0
09:30	24,6	23,4	24,4	23,9	32,4	49,8	62,4
10:00	24,1	23,0	24,6	24,4	33,4	49,5	63,0
10:30	23,6	23,4	24,6	24,5	32,4	46,5	58,3
11:00	24,0	23,7	25,3	24,7	32,4	45,0	56,8
11:30	24,0	23,2	25,7	24,5	31,1	44,3	56,4
12:00	23,0	23,7	25,1	25,2	30,7	42,9	57,5
12:30	23,0	23,0	25,4	24,7	30,1	39,7	48,8
13:00	22,6	23,4	25,5	25,2	29,6	37,8	47,3
13:30	22,8	23,4	25,5	25,3	28,8	36,9	45,4
14:00	23,3	23,7	25,4	25,4	29,0	36,2	44,5
14:30	22,9	23,7	25,3	25,3	27,8	32,3	33,1
15:00	23,4	23,5	25,2	25,0	27,4	29,5	29,8
15:30	22,7	23,1	25,8	24,7	26,2	27,4	27,7
16:00	22,1	22,2	25,5	25,2	24,9	26,3	24,0

tempo (h) /sensor	PAREDE 5 - TEMPERATURAS LIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	19,4	20,0	21,2	22,4	22,1	22,0	21,5
00:30	20,0	19,6	21,0	22,7	22,5	24,1	31,4
01:00	19,7	19,9	20,8	22,0	22,5	25,2	32,4
01:30	20,9	19,8	20,3	22,3	23,4	26,2	34,3
02:00	20,4	19,8	20,2	23,0	24,4	27,5	34,2
02:30	19,3	19,4	20,7	23,0	25,0	29,4	38,5
03:00	19,2	19,4	20,2	23,5	25,5	30,8	39,1
03:30	19,4	19,4	20,7	24,4	26,2	31,2	39,8
04:00	19,2	19,9	20,8	24,2	27,2	31,2	41,3
04:30	19,9	19,3	20,5	25,0	28,4	33,5	46,6
05:00	19,7	19,5	21,4	25,4	29,9	35,6	47,4
05:30	19,4	19,7	21,1	26,2	30,5	36,4	47,5
06:00	19,0	19,5	21,1	26,8	31,5	37,5	53,5
06:30	19,7	19,4	21,5	27,7	32,3	39,7	56,5
07:00	19,9	19,2	21,3	28,2	33,7	41,4	58,3
07:30	20,6	19,9	22,2	28,7	34,7	42,5	60,2
08:00	20,0	20,1	22,2	29,2	35,3	43,4	61,7
08:30	20,9	20,2	22,9	30,4	36,2	43,2	56,9
09:00	20,6	20,3	22,5	31,7	36,2	43,6	56,5
09:30	20,2	20,3	22,2	31,2	37,1	44,5	56,5
10:00	20,4	20,7	23,2	32,1	37,5	44,7	57,4
10:30	20,0	20,4	23,2	32,9	37,6	43,9	53,5
11:00	20,2	20,7	23,7	33,0	37,5	43,5	52,2
11:30	20,3	20,0	23,7	33,7	37,4	43,5	53,9
12:00	20,7	20,2	23,3	33,1	37,1	43,9	54,7
12:30	20,2	20,5	23,7	34,5	37,0	42,2	49,9
13:00	20,2	20,0	23,4	34,3	37,6	42,4	49,0
13:30	20,9	20,7	23,2	34,7	37,7	41,6	49,1
14:00	20,5	20,3	23,9	34,9	37,1	41,4	49,6
14:30	20,7	20,5	24,2	34,9	36,2	38,4	35,2
15:00	20,2	20,9	24,5	34,9	35,3	36,5	33,0
15:30	20,2	20,9	24,7	33,7	34,3	34,3	31,0
16:00	20,5	21,1	24,5	33,2	33,2	33,1	30,0

tempo (h) /sensor	PAREDE 5 - TEMPERATURAS CORRIGIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	20,0	21,0	22,1	22,8	22,8	22,3	22,1
00:30	20,6	20,6	21,9	23,2	23,2	24,5	32,1
01:00	20,3	20,9	21,7	22,4	23,2	25,6	33,1
01:30	21,5	20,8	21,2	22,7	24,1	26,6	35,0
02:00	21,0	20,8	21,1	23,5	25,1	27,9	34,9
02:30	19,9	20,3	21,6	23,5	25,7	29,8	39,2
03:00	19,8	20,3	21,1	24,0	26,2	31,2	39,8
03:30	20,0	20,3	21,6	24,9	26,9	31,6	40,5
04:00	19,8	20,9	21,7	24,7	27,9	31,6	42,0
04:30	20,5	20,2	21,4	25,5	29,1	33,9	47,3
05:00	20,3	20,4	22,3	25,9	30,6	36,1	48,1
05:30	20,0	20,7	22,0	26,7	31,2	36,9	48,2
06:00	19,6	20,4	22,0	27,3	32,2	38,0	54,3
06:30	20,3	20,3	22,4	28,2	33,0	40,2	57,3
07:00	20,5	20,1	22,2	28,7	34,4	41,9	59,1
07:30	21,2	20,9	23,1	29,2	35,4	43,0	61,0
08:00	20,6	21,1	23,1	29,7	36,0	43,9	62,5
08:30	21,5	21,2	23,8	30,9	36,9	43,7	57,7
09:00	21,2	21,3	23,4	32,2	36,9	44,1	57,3
09:30	20,8	21,3	23,1	31,7	37,8	45,0	57,3
10:00	21,0	21,7	24,1	32,6	38,2	45,2	58,2
10:30	20,6	21,4	24,1	33,4	38,3	44,4	54,3
11:00	20,8	21,7	24,6	33,5	38,2	44,0	52,9
11:30	20,9	21,0	24,6	34,2	38,1	44,0	54,7
12:00	21,3	21,2	24,2	33,6	37,8	44,4	55,5
12:30	20,8	21,5	24,6	35,0	37,7	42,7	50,6
13:00	20,8	21,0	24,3	34,8	38,3	42,9	49,7
13:30	21,5	21,7	24,1	35,2	38,4	42,1	49,8
14:00	21,1	21,3	24,8	35,5	37,8	41,9	50,3
14:30	21,3	21,5	25,1	35,5	36,9	38,9	35,9
15:00	20,8	21,9	25,4	35,5	36,0	37,0	33,7
15:30	20,8	21,9	25,6	34,2	35,0	34,7	31,7
16:00	21,1	22,1	25,4	33,7	33,9	33,5	30,7

tempo (h) /sensor	PAREDE 6 - TEMPERATURAS LIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	19,9	18,9	19,9	19,8	19,4	19,4	19,8
00:30	19,6	18,5	19,7	19,6	20,4	22,7	32,3
01:00	19,3	18,9	19,5	19,6	21,7	24,4	34,4
01:30	19,5	18,2	19,2	20,1	23,9	27,1	37,2
02:00	19,0	18,5	19,3	20,5	24,5	28,5	39,7
02:30	19,2	18,7	19,4	21,5	26,7	31,4	45,3
03:00	19,5	18,9	19,6	21,7	28,6	33,3	46,5
03:30	19,6	18,9	19,9	22,4	30,0	35,4	49,8
04:00	19,1	18,4	19,2	22,9	31,5	36,8	51,7
04:30	19,8	18,9	19,7	23,4	33,6	40,4	60,2
05:00	19,7	19,7	20,3	23,3	36,0	43,9	61,2
05:30	19,8	19,5	20,1	24,7	38,2	45,9	62,9
06:00	20,0	19,0	20,0	25,8	39,7	46,6	63,7
06:30	20,0	19,5	20,0	25,5	41,5	49,0	68,2
07:00	20,5	19,3	20,1	26,1	43,3	51,4	69,4
07:30	19,2	19,2	20,1	26,4	45,1	51,3	66,5
08:00	19,0	19,3	20,9	27,9	46,4	53,9	68,4
08:30	19,7	19,4	20,5	27,9	46,4	53,0	65,2
09:00	19,4	19,3	21,2	27,7	47,2	53,8	66,6
09:30	19,2	19,3	21,9	28,7	48,4	54,5	66,9
10:00	19,7	19,8	21,5	28,5	48,1	55,4	68,2
10:30	19,0	19,1	21,2	28,9	49,1	55,8	66,7
11:00	19,5	19,2	21,7	29,1	49,4	55,7	67,8
11:30	19,2	19,4	21,1	29,2	49,4	56,5	67,7
12:00	19,8	19,7	21,5	29,1	50,6	56,7	68,6
12:30	19,7	19,0	21,8	29,8	50,2	55,2	64,4
13:00	19,4	19,2	21,3	29,3	49,4	53,5	58,6
13:30	19,8	19,2	21,6	29,0	48,3	52,4	57,3
14:00	19,2	19,2	21,9	29,1	48,3	51,7	57,3
14:30	19,3	19,1	21,0	29,2	46,3	46,2	40,1
15:00	19,5	19,2	21,0	28,0	43,8	42,2	36,1
15:30	19,3	19,8	21,9	28,2	41,5	39,5	34,7
16:00	19,4	19,5	21,7	27,4	39,0	37,1	33,7

tempo (h) /sensor	PAREDE 6 - TEMPERATURAS CORRIGIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	20,5	19,8	20,8	20,2	20,1	19,7	20,4
00:30	20,2	19,4	20,6	20,0	21,1	23,0	33,0
01:00	19,9	19,8	20,4	20,0	22,4	24,8	35,1
01:30	20,1	19,1	20,1	20,5	24,6	27,5	37,9
02:00	19,6	19,4	20,2	20,9	25,2	28,9	40,4
02:30	19,8	19,6	20,3	21,9	27,4	31,8	46,0
03:00	20,1	19,8	20,5	22,1	29,3	33,7	47,2
03:30	20,2	19,8	20,8	22,8	30,7	35,9	50,5
04:00	19,7	19,3	20,1	23,4	32,2	37,3	52,4
04:30	20,4	19,8	20,6	23,9	34,3	40,9	61,0
05:00	20,3	20,7	21,2	23,8	36,7	44,4	62,0
05:30	20,4	20,4	21,0	25,2	38,9	46,4	63,7
06:00	20,6	19,9	20,9	26,3	40,4	47,1	64,5
06:30	20,6	20,4	20,9	26,0	42,1	49,6	69,0
07:00	21,1	20,2	21,0	26,6	43,9	52,0	70,2
07:30	19,8	20,1	21,0	26,9	45,7	51,9	67,3
08:00	19,6	20,2	21,8	28,4	47,0	54,5	69,2
08:30	20,3	20,3	21,4	28,4	47,0	53,6	66,0
09:00	20,0	20,2	22,1	28,2	47,8	54,4	67,4
09:30	19,8	20,2	22,8	29,2	49,0	55,1	67,7
10:00	20,3	20,8	22,4	29,0	48,7	56,0	69,0
10:30	19,6	20,0	22,1	29,4	49,7	56,4	67,5
11:00	20,1	20,1	22,6	29,6	50,0	56,3	68,6
11:30	19,8	20,3	22,0	29,7	50,0	57,1	68,5
12:00	20,4	20,7	22,4	29,6	51,2	57,3	69,4
12:30	20,3	19,9	22,7	30,3	50,8	55,8	65,2
13:00	20,0	20,1	22,2	29,8	50,0	54,1	59,4
13:30	20,4	20,1	22,5	29,5	48,9	53,0	58,1
14:00	19,8	20,1	22,8	29,6	48,9	52,3	58,1
14:30	19,9	20,0	21,9	29,7	46,9	46,7	40,8
15:00	20,1	20,1	21,9	28,5	44,4	42,7	36,8
15:30	19,9	20,8	22,8	28,7	42,1	40,0	35,4
16:00	20,0	20,4	22,6	27,9	39,7	37,6	34,4

tempo (h) /sensor	PAREDE 7 - TEMPERATURAS LIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	20,9	19,4	21,7	20,6	20,2	20,8	21,2
00:30	20,2	20,3	21,2	20,4	21,7	23,8	33,5
01:00	20,9	20,2	21,0	21,4	22,6	25,9	33,7
01:30	21,6	20,7	21,3	21,1	23,4	26,7	35,4
02:00	21,7	20,6	21,9	21,4	24,7	27,5	36,4
02:30	21,0	20,5	21,8	22,8	25,5	30,8	43,7
03:00	21,5	20,9	21,0	22,2	27,9	32,5	44,9
03:30	22,5	20,9	21,5	23,8	28,3	33,9	46,4
04:00	22,4	21,8	22,3	23,3	29,6	34,2	48,0
04:30	22,9	21,3	22,4	24,8	31,6	38,4	56,2
05:00	22,7	21,1	22,6	24,3	33,5	40,2	57,1
05:30	23,1	22,4	22,9	25,8	35,7	42,5	58,4
06:00	23,1	22,5	23,8	26,5	36,9	43,2	57,9
06:30	23,2	22,7	23,7	27,9	38,5	45,9	61,5
07:00	23,4	22,7	24,7	27,7	39,7	46,3	62,9
07:30	24,6	23,5	24,5	28,6	40,9	48,9	63,6
08:00	24,3	23,5	25,3	29,6	42,7	49,9	64,3
08:30	24,7	24,0	25,3	29,1	42,5	49,5	62,6
09:00	24,9	24,8	26,8	30,3	43,9	49,5	62,9
09:30	24,5	24,4	26,6	30,6	43,7	50,5	61,8
10:00	25,8	24,1	27,0	31,9	44,3	50,4	62,4
10:30	25,8	24,5	27,1	31,6	44,8	49,2	56,4
11:00	25,3	25,8	27,3	31,9	44,2	48,5	55,4
11:30	25,9	25,9	27,5	31,4	43,4	47,6	55,7
12:00	25,1	25,6	28,8	31,5	43,1	47,5	55,6
12:30	25,4	25,2	28,7	31,6	42,2	45,1	48,3
13:00	25,2	25,4	28,3	31,5	42,3	44,2	48,6
13:30	25,3	25,4	28,5	31,5	41,6	43,5	46,5
14:00	25,5	25,7	28,3	31,7	40,0	42,5	46,3
14:30	25,0	25,8	28,7	30,3	39,3	39,0	35,5
15:00	24,4	25,2	28,8	30,1	37,0	36,6	33,3
15:30	24,7	25,0	28,4	30,6	36,4	35,7	32,0
16:00	24,8	24,9	27,7	29,3	34,7	33,0	30,7

tempo (h) /sensor	PAREDE 7 - TEMPERATURAS CORRIGIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	21,5	20,3	22,6	21,0	20,9	21,1	21,8
00:30	20,8	21,3	22,1	20,8	22,4	24,2	34,2
01:00	21,5	21,2	21,9	21,8	23,3	26,3	34,4
01:30	22,2	21,7	22,2	21,5	24,1	27,1	36,1
02:00	22,3	21,6	22,8	21,8	25,4	27,9	37,1
02:30	21,6	21,5	22,7	23,3	26,2	31,2	44,4
03:00	22,1	21,9	21,9	22,6	28,6	32,9	45,6
03:30	23,1	21,9	22,4	24,3	29,0	34,3	47,1
04:00	23,0	22,8	23,2	23,8	30,3	34,6	48,7
04:30	23,5	22,3	23,3	25,3	32,3	38,9	57,0
05:00	23,3	22,1	23,5	24,8	34,2	40,7	57,9
05:30	23,7	23,4	23,8	26,3	36,4	43,0	59,2
06:00	23,7	23,5	24,7	27,0	37,6	43,7	58,7
06:30	23,8	23,7	24,6	28,4	39,2	46,4	62,3
07:00	24,0	23,7	25,6	28,2	40,4	46,8	63,7
07:30	25,2	24,5	25,4	29,1	41,5	49,5	64,4
08:00	24,9	24,5	26,2	30,1	43,3	50,5	65,1
08:30	25,3	25,0	26,2	29,6	43,1	50,1	63,4
09:00	25,5	25,8	27,8	30,8	44,5	50,1	63,7
09:30	25,1	25,4	27,6	31,1	44,3	51,1	62,6
10:00	26,4	25,1	28,0	32,4	44,9	51,0	63,2
10:30	26,4	25,5	28,1	32,1	45,4	49,8	57,2
11:00	25,9	26,8	28,3	32,4	44,8	49,1	56,2
11:30	26,5	26,9	28,5	31,9	44,0	48,2	56,5
12:00	25,7	26,6	29,8	32,0	43,7	48,1	56,4
12:30	26,0	26,2	29,7	32,1	42,8	45,6	49,0
13:00	25,8	26,4	29,3	32,0	42,9	44,7	49,3
13:30	25,9	26,4	29,5	32,0	42,2	44,0	47,2
14:00	26,1	26,7	29,3	32,2	40,7	43,0	47,0
14:30	25,6	26,8	29,7	30,8	40,0	39,5	36,2
15:00	25,0	26,2	29,8	30,6	37,7	37,1	34,0
15:30	25,3	26,0	29,4	31,1	37,1	36,2	32,7
16:00	25,4	25,9	28,7	29,8	35,4	33,4	31,4

tempo (h) /sensor	PAREDE 8 - TEMPERATURAS LIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	18,5	18,5	19,6	19,0	18,4	19,2	19,4
00:30	18,5	18,2	19,2	19,8	19,2	20,6	31,8
01:00	18,5	18,4	19,2	19,3	21,6	22,9	32,8
01:30	18,8	18,0	19,0	19,3	22,8	23,5	33,8
02:00	18,2	18,4	19,6	20,7	23,4	24,5	34,8
02:30	19,1	18,0	19,5	20,5	24,4	26,5	44,0
03:00	19,5	18,5	19,7	21,4	26,7	28,8	45,5
03:30	19,7	19,4	20,7	22,4	27,4	30,0	46,9
04:00	19,3	19,2	21,1	23,2	29,5	31,5	48,4
04:30	20,7	20,7	21,9	24,6	30,6	33,8	56,5
05:00	20,9	20,2	22,6	25,3	32,5	35,5	57,4
05:30	20,8	21,8	22,7	26,9	33,5	36,2	57,2
06:00	21,3	21,5	23,3	27,5	34,6	37,9	58,5
06:30	21,1	22,4	24,3	28,5	36,2	39,7	62,5
07:00	22,5	22,4	24,5	29,2	37,5	40,3	63,3
07:30	22,4	23,8	25,6	30,5	38,7	41,8	64,3
08:00	23,1	24,5	25,6	31,4	39,4	42,3	67,0
08:30	23,4	24,9	26,4	31,9	40,2	43,5	65,3
09:00	23,9	25,4	27,2	32,2	41,3	44,3	66,1
09:30	24,9	25,4	27,5	33,9	41,7	44,0	65,7
10:00	24,0	26,2	28,5	33,4	42,8	45,3	64,7
10:30	24,7	26,5	28,0	34,4	41,2	44,0	58,6
11:00	24,1	26,4	29,4	34,5	40,4	43,4	56,4
11:30	24,4	26,9	29,8	34,5	40,4	43,4	56,9
12:00	24,9	27,2	29,2	34,4	39,7	43,4	56,0
12:30	24,8	27,4	29,5	34,2	39,1	41,9	48,7
13:00	24,7	27,1	29,4	34,7	38,3	40,6	48,7
13:30	24,7	26,5	29,6	33,6	37,4	39,4	46,9
14:00	24,3	26,2	29,7	33,4	36,0	39,0	46,6
14:30	24,0	26,3	28,7	32,0	35,4	36,1	34,0
15:00	24,6	26,7	28,3	32,7	33,3	33,1	31,2
15:30	24,4	26,0	28,1	31,7	31,4	32,5	30,4
16:00	24,6	25,0	27,4	30,7	30,5	30,5	29,1

tempo (h) /sensor	PAREDE 8 - TEMPERATURAS CORRIGIDAS (°C)						
	TP 8	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 9
00:00	19,1	19,4	20,5	19,4	19,1	19,5	20,0
00:30	19,1	19,1	20,1	20,2	19,9	20,9	32,5
01:00	19,1	19,3	20,1	19,7	22,3	23,3	33,5
01:30	19,4	18,9	19,9	19,7	23,5	23,9	34,5
02:00	18,8	19,3	20,5	21,1	24,1	24,9	35,5
02:30	19,7	18,9	20,4	20,9	25,1	26,9	44,7
03:00	20,1	19,4	20,6	21,8	27,4	29,2	46,2
03:30	20,3	20,3	21,6	22,8	28,1	30,4	47,6
04:00	19,9	20,1	22,0	23,7	30,2	31,9	49,1
04:30	21,3	21,7	22,8	25,1	31,3	34,2	57,3
05:00	21,5	21,2	23,5	25,8	33,2	36,0	58,2
05:30	21,4	22,8	23,6	27,4	34,2	36,7	58,0
06:00	21,9	22,5	24,2	28,0	35,3	38,4	59,3
06:30	21,7	23,4	25,2	29,0	36,9	40,2	63,3
07:00	23,1	23,4	25,4	29,7	38,2	40,8	64,1
07:30	23,0	24,8	26,5	31,0	39,4	42,3	65,1
08:00	23,7	25,5	26,5	31,9	40,1	42,8	67,8
08:30	24,0	25,9	27,4	32,4	40,9	44,0	66,1
09:00	24,5	26,4	28,2	32,7	41,9	44,8	66,9
09:30	25,5	26,4	28,5	34,4	42,3	44,5	66,5
10:00	24,6	27,2	29,5	33,9	43,4	45,8	65,5
10:30	25,3	27,6	29,0	34,9	41,8	44,5	59,4
11:00	24,7	27,4	30,4	35,0	41,1	43,9	57,2
11:30	25,0	28,0	30,8	35,0	41,1	43,9	57,7
12:00	25,5	28,3	30,2	34,9	40,4	43,9	56,8
12:30	25,4	28,5	30,5	34,7	39,8	42,4	49,4
13:00	25,3	28,2	30,4	35,2	39,0	41,1	49,4
13:30	25,3	27,6	30,6	34,1	38,1	39,9	47,6
14:00	24,9	27,2	30,7	33,9	36,7	39,5	47,3
14:30	24,6	27,3	29,7	32,5	36,1	36,6	34,7
15:00	25,2	27,8	29,3	33,2	34,0	33,5	31,9
15:30	25,0	27,0	29,1	32,2	32,1	32,9	31,1
16:00	25,2	26,0	28,4	31,2	31,2	30,9	29,8

ANEXO C

Composição dos custos de cada parede

Para a composição dos custos de cada parede considerou-se os preços das Figuras 1 a 3 e da Tabela 1, já se contabilizando os encargos sociais – valores provenientes do SINAPI de agosto de 2009.

Para a composição dos preços das paredes 4 e 5, considerou-se o preço por metro da tela de estuque, sendo feito um acréscimo de 10% como uma estimativa de mão-de-obra para a aplicação da tela.

Para a composição dos preços das paredes 4, 5 e 6, considerou-se o preço por metro quadrado do isopor, sendo feito um acréscimo de 10% como uma estimativa de mão-de-obra para a colocação do isopor.

As composições dos custos totais por metro quadrado de cada parede encontram-se na Tabela 2.

SINAPI - SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL 153 de 228

PCI.817.01 - CUSTO DE COMPOSIÇÕES - SINTÉTICO EMISSÃO: 01/10/2009 AS 11:44:11

ENCARGOS SOCIAIS SOBRE PREÇOS DA MÃO-DE-OBRA: 121,10% (HORA) 80,40% (MÉS) LOCALIDADE : PORTO ALEGRE

ABRANCÊNCIA : NACIONAL DATA DE PREÇO : 08/2009

REF. COLETA : MEDIANO

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	CUSTO TOTAL
VÍNCULO..... CAIXA REFERENCIAL			
72190	RODAPE BORRACHA LISO, ALTURA 7CM, ESPESSURA 1MM, FIXADO COM COLA	M	13,09
REVE			
REVESTIMENTO E TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES			
0106	CHAPISCO		
5974	CHAPISCO EM PAREDES TRACO 1:4 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREP	M2	2,32
ARO MECANICO			
5975	CHAPISCO EM TETOS TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPAR	M2	4,35
O MECANICO			
73928	CHAPISCA ARGAMASSA CIMENTO/AREIA 1:4 E=0,7CM		
73928/001	CHAPISCO EM PAREDES TRACO 1:4 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREP	M2	2,42
ARO MANUAL			
73928/002	CHAPISCO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANUAL	M2	2,61
73928/003	CHAPISCA ARGAMASSA CIMENTO/AREIA 1:4 E=0,7CM	M2	3,51
73928/004	CHAPISCO ARGAMASSA CIMENTO/AREIA 1:6 E=0,7CM	M2	3,19
73928/005	CHAPISCO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MECANIC	M2	2,85
O, INCLUSO ADITIVO IMPERMEABILIZANTE			
73928/006	CHAPISCO TRACO 1:4 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANUAL,	M2	2,86
INCLUSO ADITIVO IMPERMEABILIZANTE			
73928/007	CHAPISCO TRACO 1:4 (CIMENTO E PEDRISCO), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANU	M2	3,59
AL			
74161	CHAPISCO EM PAREDES ARG CIM/AREIA 1:3 E=0,5CM		
74161/001	CHAPISCO EM PAREDES TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREP	M2	2,54
ARO MECANICO			
74199	CHAPISCO RUSTICO/PAREDES ARG CIM/AREIA 1:3 E=2,0CM		
74199/001	CHAPISCO RUSTICO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 2CM, PREPARO M	M2	17,64
ANUAL			
0107	EMBOCO		
5976	EMBOCO EM TETOS TRACO 1:4 (CAL E AREIA MEDIA), ESPESSURA 1,5CM, PREPAR	M2	11,08
O MANUAL			

Fig. 1: Detalhe do preço do chapisco.

Fonte: SINAPI (2009).

SINAPI - SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL

155 de 228

PCI.817.01 - CUSTO DE COMPOSIÇÕES - SINTÉTICO

EMISSÃO: 01/10/2009 AS 11:44:11

ENCARGOS SOCIAIS SOBRE PREÇOS DA MÃO-DE-OBRA: 121,10% (HORA) 80,40% (MÊS)

LOCALIDADE : PORTO ALEGRE

ABRANGÊNCIA : NACIONAL

DATA DE PREÇO : 08/2009

REF. COLETA : MEDIANO

CÓDIGO	D E S C R I Ç Ã O	UNIDADE	CUSTO TOTAL
VÍNCULO..... CAIXA REFERENCIAL			
	,0CM, PREPARO MANUAL, INCLUSIVE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE		
73927	EMBOCO		
73927/001	EMBOCO TRACO 1:7 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 1,5CM, PREPARO MANUAL	M2	8,91
73927/002	EMBOCO TRACO 1:4 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 2,0CM, PREPARO MANUAL	M2	12,20
73927/003	EMBOCO TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPESSURA 1,5CM, PREPARO MA	M2	9,83
	NUAL		
73927/004	EMBOCO TRACO 1:2:6 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPESSURA 2,0CM, PREPARO MA	M2	13,20
	NUAL		
73927/005	EMBOCO PAULISTA (MASSA UNICA) TRACO 1:6 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 2	M2	13,50
	,5CM, PREPARO MANUAL		
73927/006	EMBOCO PAULISTA (MASSA UNICA) TRACO 1:1:6 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPE	M2	12,25
	SSURA 2,0CM, PREPARO MANUAL		
73927/007	EMBOCO PAULISTA (MASSA UNICA) TRACO 1:2:9 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPE	M2	11,97
	SSURA 2,0CM, PREPARO MANUAL		
73927/008	EMBOCO PAULISTA (MASSA UNICA) TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPE	M2	9,83
	SSURA 1,5CM, PREPARO MANUAL		
73927/009	EMBOCO PAULISTA (MASSA UNICA) TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPE	M2	12,27
	SSURA 2,0CM, PREPARO MANUAL		
73927/010	EMBOCO PAULISTA CIMENTO/CAL/AREIA 1:3:10 E=3,0CM	M2	22,06
73927/011	EMBOCO PAULISTA (MASSA UNICA) TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 2	M2	12,97
	,0CM, PREPARO MANUAL		
0108	REBOCO		
5994	REBOCO EM TETOS ARGAMASSA TRACO 1:2 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA), ESPE	M2	8,87
	SSURA 0,5CM PREPARO MANUAL		
5995	REBOCO PARA PAREDES ARGAMASSA TRACO 1:4,5 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA)	M2	7,29
	, ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MECANICO		
5996	REBOCO PARA TETOS ARGAMASSA TRACO 1:4,5 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA),	M2	8,56
	ESPESSURA 0,5CM PREPARO MECANICO		

Fig. 2: Detalhe do preço do emboço.

Fonte: SINAPI (2009).

SINAPI - SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL

130 de 228

PCI.817.01 - CUSTO DE COMPOSIÇÕES - SINTÉTICO

EMISSÃO: 01/10/2009 AS 11:44:11

ENCARGOS SOCIAIS SOBRE PREÇOS DA MÃO-DE-OBRA: 121,10% (HORA) 80,40% (MÊS)

LOCALIDADE : PORTO ALEGRE

ABRANGÊNCIA : NACIONAL

DATA DE PREÇO : 08/2009

REF. COLETA : MEDIANO

CÓDIGO	D E S C R I Ç Ã O	UNIDADE	CUSTO TOTAL
VÍNCULO..... CAIXA REFERENCIAL			
6449	ALVENARIA DE TIJULOS, E=10 CM, D/POCO DE VISTORIA DA FOSSA D INT	M2	85,81
	= 80 CM, H INT = 70 CM		
6512	ALVENARIA EM TIJULOS, E=10 CM, P/ CONSTRUÇÃO DE SUMIDOURO P/	M2	85,81
	EFLUENTE LÍQUIDO DA FOSSA SEPTICA, D INT = 300 CM E H INT = 600 CM		
6519	ALVENARIA EM TIJULOS MACIÇOS, E = 20 CM	M2	60,49
68049	CINTA E CONTRAVERGA EM TIJULO CERAMICO MACICO 510X20CM 1/2 VEZ	M2	57,14
72131	ALVENARIA EM TIJULO CERAMICO MACICO 510X20CM 1/2 VEZ (ESPESSURA 10CM)	M2	42,93
	, ASSENTADO COM ARGAMASSA TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA)		
72132	ALVENARIA EM TIJULO CERAMICO MACICO 510X20CM ESPELHO (ESPESSURA 5CM),	M2	23,04
	ASSENTADO COM ARGAMASSA TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA)		
72133	ALVENARIA EM TIJULO CERAMICO MACICO 510X20CM 1 1/2 VEZ (ESPESSURA 30C	M2	106,48
	M), ASSENTADO COM ARGAMASSA TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA)		
72177	TELA TIPO DEPLOYES PARA REFORÇO DE ALVENARIA	M2	2,00
73810	ALVENARIA DE TIJULOS APARENTES DE 2 FOROS (1/2 VEZ), ASSENTADOS E RE-		
	JUNTADOS COM ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA		
73810/001	ALVENARIA COM TIJULOS ADARENTES 6,5X10X20CM, ASSENTADOS COM ARGAMASSA	M2	61,04
	TRACO 1:6 (CIMENTO E AREIA) PREPARO MANUAL		
73935	ALVENARIA 10CM TIJ CER FURADO 10X10X20CM CIMENTO/AREIA 1:10		
73935/001	ALVENARIA EM TIJULO CERAMICO FURADO 10X10X20CM, 1/2 VEZ, ASSENTADO EM	M2	26,67
	ARGAMASSA TRACO 1:4 (CIMENTO E AREIA)		
73935/002	ALVENARIA EM TIJULO CERAMICO FURADO 10X10X20CM, 1 VEZ, ASSENTADO EM AR	M2	46,23
	GAMASSA TRACO 1:4 (CIMENTO E AREIA)		
73935/003	ALVENARIA EM TIJULO CERAMICO FURADO 10X10X20CM, 1/2 VEZ, ASSENTADO EM	M2	36,34
	ARGAMASSA TRACO 1:8 (CIMENTO E AREIA)		
73935/004	ALVENARIA EM TIJULO CERAMICO FURADO 10X10X20CM, 1 VEZ, ASSENTADO EM AR	M2	68,77
	GAMASSA TRACO 1:8 (CIMENTO E AREIA)		
73935/005	ALVENARIA EM TIJULO CERAMICO FURADO 10X15X20CM, 1/2 VEZ, ASSENTADO EM	M2	30,65
	ARGAMASSA TRACO 1:4 (CIMENTO E AREIA)		

Fig. 3: Detalhe do preço das alvenarias.

Fonte: SINAPI (2009).

Tabela 1 – Detalhe dos preços do isopor e da tela de estuque.

SINAPI - Preços de Insumos RS - Ago/2009			
Código	Descrição	Unidade	Preço Mediano (R\$)
00003409	Isopor e = 5cm	m ²	15,52
00007169	Tela de estuque - Tipo Standard	m ²	1,96

Fonte: SINAPI (2009).

Tabela 2 – Composições do custo total por metro quadrado das paredes.

Parede/ Custos	Chapisco		Emboço		Alvenaria		Tela		Isopor		CUSTO TOTAL/M2 (R\$)
	m ²	Custo (R\$)	m ²	Custo (R\$)	espessura	Custo (R\$)	Custo (R\$)	Custo (R\$) + 10%	Custo (R\$)	Custo (R\$) + 10%	
P1	1	2,61	1	12,25	10cm	42,93	-	-	-	-	57,79
P2	2	5,22	2	24,5	10cm	42,93	-	-	-	-	72,65
P3	2	5,22	2	24,5	30cm	106,48	-	-	-	-	136,20
P4	2	5,22	2	24,5	30cm	106,48	1,96	2,156	15,52	17,072	155,43
P5	2	5,22	2	24,5	30cm	106,48	1,96	2,156	15,52	17,072	155,43
P6	2	5,22	2	24,5	2 x 10cm	85,86	-	-	15,52	17,072	132,65
P7	2	5,22	2	24,5	2 x 10cm	85,86	-	-	-	-	115,58
P8	2	5,22	2	24,5	5 + 10cm	65,97	-	-	-	-	95,69