

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
ÁREA DE TECNOLOGIA DA ARQUITETURA E URBANISMO**

**DESEMPENHO TÉRMICO DE ALVENARIAS: UMA
ALTERNATIVA COM O USO DE BLOCOS EVA**

Emmily Gérsica Santos Gomes

**JOÃO PESSOA-PB
2015**

Emmily Gércica Santos Gomes

**DESEMPENHO TÉRMICO DE ALVENARIAS: UMA
ALTERNATIVA COM O USO DE BLOCOS EVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba- UFPB, como requisito parcial à obtenção do grau de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof.^a Aluísio Braz de Melo
Co-orientadora: Dra. Elisângela Pereira da Silva
Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo
Linha de pesquisa: Qualidade Ambiental Urbana e do Edifício

**JOÃO PESSOA-PB
2015**

Autorizo a reprodução total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na publicação
Serviço de Biblioteca na Documentação
Universidade Federal da Paraíba

G633d...Gomes, Emmily Gérsica Santos.
Desempenho térmico de alvenarias: uma alternativa com
o uso de blocos EVA / Emmily Gérsica Santos Gomes. - João
Pessoa, 2015.
127f.
Orientador: Aluísio Braz de Melo
Coorientadora: Elisângela Pereira da Silva
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT
1. Arquitetura e urbanismo. 2. Blocos EVA. 3. Alvenaria -
desempenho térmico.

UFPB/BC

CDU: 72+711(043)

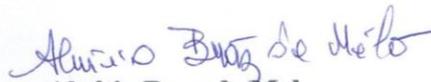
Desempenho térmico de alvenarias: uma alternativa com o uso de blocos

EVA

Por

Emmily Gersica Santos Gomes

Dissertação aprovada em 30 de Janeiro de 2015



Aluísio Braz de Melo

Orientador



Elisângela Pereira da Silva

Coorientadora – UFERSA



Angelina Dias Leão Costa

Examinador Interno – UFPB



Homero Jorge Matos de Carvalho

Examinador Interno – IFPB

João Pessoa-PB

2014

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Aluísio Braz de Melo, por sua disponibilidade em transmitir todo o conhecimento e apoio necessário para o desenvolvimento deste trabalho. Além de todo incentivo, sua paciência e compreensão constante deixaram os meus dias de trabalho mais alegres.

A minha co-orientadora, Professora Elisangela Pereira da Silva, pela amizade, carinho e cuidado, por sempre depositar confiança e expectativas em mim. Obrigada por todo o ensinamento transmitido.

A Sinval Maciel por ser tão solícito, sempre auxiliando junto a coordenação do PPGAU.

A todo apoio técnico fornecido pelos meus amigos do LABEME: Ricardo, Mizo, Zito, Beto, Otoniel, Delby, Sebastião e ao professor Cláudio. Sem a ajuda de vocês este sonho não seria alcançado. A minha amiga Luz, agradeço por todo carinho, por me ajudar na limpeza e por cuidar de mim como uma mãe.

Ao meu namorado, Adenilson Targino de Araújo Junior pelo incentivo, amor e paciência, por me impulsionar sempre a diante, e por ter uma família que me enche de boas energias.

As minhas irmãs Thays, Thayná e Jullya por alegrarem a minha vida e acreditarem mais em mim que eu mesma.

A minha mãe Neli Erundina dos Santos e ao meu pai Fernando Batista Gomes, por todo o amor e dedicação, por terem me proporcionado tudo que tenho e sou. Sou uma privilegiada por tê-los ao meu lado e dedico esta conquista a vocês.

E por fim, a Deus por me guiar aos caminhos do bem, me rodeando de pessoas maravilhosas. Obrigada por encher minha vida com anjos de luz, que me guiam e auxiliam para que a minha fé na vitória seja sempre inabalável.

GOMES, Emmily Gércica Santos. **Desempenho térmico de alvenarias: uma alternativa com o uso de blocos EVA.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

RESUMO

Durante a fabricação dos calçados geram-se vários tipos de resíduos, entre eles os de Etileno Acetado de Vinila (EVA), na forma de retalhos das placas expandidas do material usados na obtenção dos formatos dos calçados. Uma alternativa para o destino adequado desses resíduos de EVA é a sua utilização na confecção de blocos, produzidos com concreto leve. O tema abordado na presente pesquisa está relacionado com os ganhos térmicos adquiridos pelas vedações verticais e o conforto térmico dos ambientes construídos. Ambientes que não possuem o tipo de alvenaria adequada ao seu clima geram problemas de conforto térmico devido à perda, ou ganho excessivo de calor, o que acontece em regiões com clima predominantemente quente e seco e quente e úmido, como é o caso do litoral e semi-árido do Nordeste do Brasil. Considerando-se o desconforto térmico dos ambientes devido a má utilização de elementos apropriados nas alvenarias das edificações, assim como, a problemática do destino final dos resíduos de EVA, este trabalho visa ampliar a caracterização do desempenho térmico dos blocos compostos por EVA. Com isso, se buscou analisar comparativamente amostras desenvolvidas a partir de Blocos EVA com outros tipos de componentes. O estudo foi feito a partir da elaboração de amostras de mini paredes simples e duplas (constituídas por blocos EVA, tijolos cerâmicos e blocos de concreto), ensaiadas dentro de uma câmara térmica composta por dois ambientes, um aquecido e outro refrigerado, separados por uma divisória isolante. A instrumentação foi realizada com o uso de termopares instalados nas superfícies das mini paredes e de termômetros de globo negro nos ambientes da câmara. A partir da caracterização experimental das propriedades termofísicas, tais como condutividade térmica e densidade, dos blocos EVA foram realizados cálculos de vários parâmetros, como previsto na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) e cálculos para a obtenção da taxa de transferência de calor das amostras. Os resultados demonstram a eficiência de isolamento do bloco com maior percentual de resíduo e que as diferentes amostras de mini paredes simples e duplas, propostas com o uso de blocos EVA, podem atender as exigências do clima quente e úmido e quente e seco.

Palavras-chaves: blocos EVA, alvenaria, desempenho térmico.

GOMES, Emmily Gércica Santos. **Thermal Performance of walls: an alternative to the use of EVA blocks.** Master' Thesis. Postgraduate Program in Architecture and Urbanism, Federal University of Paraíba, João Pessoa, 2015.

ABSTRACT

During the manufacture of footwear, are generated various types of waste, including the Ethylene Vinyl Acetat (EVA), as inevitable patchwork of expanded boards of the material to obtain the shoe formats. An alternative to an appropriate destination of EVA waste is its use in the manufacture of blocks produced with lightweight concrete. The issue addressed in this study is related to the thermal gains made by vertical sealing and thermal comfort of built environments. The environments that do not have the appropriate type of masonry to its climate generate thermal comfort problems due to loss, or excessive heat gain, what happens in regions with predominantly hot dry weather wet hot, as is the case of Northeast Brazil. Considering the thermal discomfort of environments due to misuse elements appropriate in the walls of buildings, as well as the problem of disposal of waste EVA, this work is to extend the characterization of the thermal performance of the blocks composed of EVA. Therefore, we sought to analyze compared samples developed from EVA blocks with other components. The study was done from the development of miniature single skin and double samples (made of EVA blocks, ceramic bricks and concrete blocks), which were tested in a thermal chamber composed of two rooms, a heated and another cooled, separated by an insulating partition in which the sample was inserted. The instrumentation was performed with the use of thermocouples installed in the walls and surfaces of the mini black globe thermometers in the chamber environment. From the experimental characterization of thermophysical properties such as thermal conductivity and density of the EVA blocks of various parameters calculations were performed as set out in NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) and calculations to obtain the heat transfer rate of samples. The results demonstrate the efficiency of the insulation block with the highest percentage of waste and the various samples using proposed block can meet EVA hot and wet/dry climate requirements.

Keywords: EVA blocks, walls, thermal performance.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Detalhe do resíduo gerado durante o processo de fabricação de calçados em forma de aparas de sandálias e em pó.....	21
Figura 2. Resíduos da indústria de calçados.....	21
Figura 3. Trocas de calor através de paredes opacas.....	27
Figura 4. Transferência de calor em uma parede plana	33
Figura 5. Zoneamento bioclimático brasileiro	39
Figura 6. Mistura de lotes.....	44
Figura 7. Granulometria EVA.....	45
Figura 8. Ensaio de massa unitária EVA	47
Figura 9. Moldagem dos blocos EVA.....	49
Figura 10. Blocos EVA.....	50
Figura 11. Câmara úmida e tanque de cura	51
Figura 12. Resistência a absorção.....	51
Figura 13. Resistência e compressão.....	52
Figura 14. Câmara térmica.....	57
Figura 15. Paredes internas da câmara revestidas com isopor e dispositivo usado como fonte de calor dispersa	57
Figura 16. Termômetro de globo negro.....	59
Figura 17. Calibração da câmara térmica: lado aquecido ligado e lado refrigerado desligado...	60
Figura 18. Calibração da câmara térmica: lado aquecido desligado e lado refrigerado ligado....	61
Figura 19. Calibração da câmara térmica: lado aquecido e refrigerado ligados.....	62
Figura 20. Instrumentação dos termopares e amostra	64
Figura 21. Densidade aparente	66
Figura 22. Princípio da medição da condutividade térmica.....	68
Figura 23. Placas 30mm x 30mm.....	69
Figura 24. Variação de temperatura média durante o ensaio com a parede simples EVA9_60%, TC e Concreto.....	71
Figura 25. Variação de temperatura média durante o ensaio com paredes simples que têm a mesma espessura e diferentes teores de EVA nos blocos (60% x 80%)	76

Figura 26. Variação de temperatura da mini parede simples EVA14_60% em câmara térmica	81
Figura 27. Variação de temperatura das mini paredes duplas TC+EVA9_60% e EVA9_60% +TC.....	83
Figura 28. Variação de temperatura das mini paredes duplas EVA9_60%+EVA12,5_80% e TC+EVA12,50_80%.....	85
Figura 29. Espessuras e Temperaturas médias Globais nas faces das paredes duplas ensaiadas	87
Figura 30. Relação entre os volumes das câmaras de ar das mini-paredes e o fluxo de calor....	91

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Valores de resistência térmica de espaços de ar (Rar).....	28
Tabela 2. Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa	41
Tabela 3. Ensaio de granulometria do EVA.....	46
Tabela 4. Ensaio de granulometria da areia	47
Tabela 5. Massa unitária do EVA.....	48
Tabela 6. Massa unitária da areia	48
Tabela 7. Dosagens e características dos materiais utilizados na moldagem dos blocos EVA.....	49
Tabela 8. Resultados de absorção de água com 07 e 28 dias para todos os blocos EVA, Concreto e tijolos cerâmicos	52
Tabela 9. Valores médios de resistência à compressão com 28 dias	53
Tabela 10. Temperatura global das temperaturas no termômetro de globo negro da câmara térmica	63
Tabela 11. Densidade aparente dos corpos de prova de EVA com 60% e 80%.....	67
Tabela 12. Condutividade térmica nas placas de EVA com 60% e 80%.....	69
Tabela 13. Comparativo entre Temperaturas médias Globais nos ambientes e nas faces das paredes simples EVA9_60%, Concreto e TC.....	73
Tabela 14. Propriedades termofísicas dos materiais das amostras	73
Tabela 15. Valores de Resistência Térmica, Capacidade térmica, Transmitância Térmica, atraso e fator de calor solar de TC, Concreto e EVA9_60%.....	73
Tabela 16. Transmitância Térmica, atraso e fator solar admissíveis para cada tipo de vedação	74
Tabela 17. Classificação das vedações externas através dos valores de Transmitância Térmica, atraso e fator de calor solar.....	75
Tabela 18. Comparativo entre Temperaturas médias Globais nos ambientes e nas faces das paredes simples EVA12,5_60% e EVA12,5_80%	77
Tabela 19. Valores da Resistência Térmica, Capacidade térmica, Transmitância Térmica, atraso e fator de calor solar de EVA12,5_60% e EVA1,5_80%.....	78
Tabela 20. Classificação das amostras EVA12,5_60% e EVA12,5_80% através dos valores de	

Transmitância Térmica, atraso e fator de calor solar	80
Tabela 21. Resultado dos cálculos de desempenho para as paredes duplas	88
Tabela 22. Fluxo de calor (Q) das mini-paredes simples	90

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1. Principais exigências aplicáveis a paredes de alvenaria.....	25
Quadro 2. Componentes que serão utilizados na preparação de mini paredes.....	43
Quadro 3. Descrição das amostras de mini paredes simples.....	54
Quadro 4. Descrição das amostras de mini paredes duplas.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas técnicas
a/c	Relação água/ cimento
CT	Capacidade térmica
c	Calor específico do material (kJ/kg.K)
D_{máx}	Densidade máxima
EVA	Ethylene Vinyl Acetate
EVA9_60%	Parede / Bloco EVA com 9 cm de espessura e 60% de teor de EVA
EVA14_60%	Parede/ Bloco EVA com 14 cm de espessura e 60% do teor de EVA
EVA12,5_60%	Parede/ Bloco EVA com 12,5cm de espessura e 60% de teor de EVA
EVA12,5_80%	Parede/ Bloco EVA com 12,5cm de espessura e 80% de teor de EVA
F_{so}	Fator Solar
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
k	Condutividade térmica
K	Kelvin
LABEME	Laboratório de Materiais e estruturas
LMPT	Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina
m	massa superficial do elemento construtivo
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma brasileira
ρ	Densidade do material
Q_k	Fluxo de calor
q_c	Densidade do fluxo térmico por convecção
φ	Atraso térmico
δ	Difusividade térmica
R_T	Resistência Térmica

SI	Sistema Internacional
T_x, T_y	Temperaturas absolutas das superfícies x e y
t	Temperatura do ar (°C)
TC	Tijolo cerâmico com oito furos
TGae	Temperatura média Global no ambiente exposto ao calor
TGao	Temperatura média Global no ambiente oposto ao calor
TGfe	Temperatura média Global na face da parede exposta ao calor
TGfo	Temperatura média Global na face da parede oposta ao calor
U	Trânsmitância térmica
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
λ	Condutividade térmica

SUMÁRIO

	Páginas
1. INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	17
1.2 OBJETIVO GERAL.....	19
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE O ETILENO ACETATO DE VINILA- EVA.....	20
2.1.1 <i>Os resíduos de Etileno acetato de vinila EVA</i>	20
2.1.2 <i>O EVA como alternativa para blocos de alvenaria não estrutural</i>	22
2.2 ELEMENTOS VERTICAIS NAS EDIFICAÇÕES.....	23
2.2.1 <i>Desempenho térmico de paredes externas nos edifícios</i>	26
2.2.2 <i>Sistema de paredes duplas</i>	27
2.3 CALOR.....	29
2.3.1 <i>Convecção</i>	30
2.3.2 <i>Radiação</i>	31
2.3.3 <i>Condução</i>	31
2.3.3.1 <i>Capacidade térmica</i>	34
2.3.3.2 <i>Inércia térmica e atraso (ou ganho)</i>	35
2.4 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA.....	36
2.4.1 <i>Considerações básicas sobre critérios climáticos no Brasil</i>	36
2.4.2 <i>Zoneamento bioclimático brasileiro</i>	38
2.4.3 <i>Diretrizes construtivas para João Pessoa-PB</i>	40
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	42
3.1 ELABORAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	42
3.1.1 <i>Moldagem dos blocos</i>	44
3.1.2 <i>Amostra de mini paredes simples e duplas</i>	53
3.2 MEDIÇÕES EM CÂMARA TÉRMICA NO LABORATÓRIO.....	56

3.2.1 Câmara térmica.....	56
3.2.2 Calibração dos termopares.....	58
3.2.3 Calibração da câmara térmica.....	60
3.2.4 Instrumentação das amostras.....	63
3.3 CÁLCULO DE DESEMPENHO TÉRMICO.....	65
3.3.1 Determinação da densidade.....	66
3.3.2 Determinação da condutividade térmica.....	67
3.3.3 Calor específico.....	69
4.RESULTADOS.....	71
4.1 AMOSTRAS COM MATERIAIS DIFERENTES E MESMAS ESPESSURAS.....	73
4.2 AMOSTRAS COM MESMAS ESPESSURAS E TEORES DIFERENTES DE EVA.....	75
4.4 PAREDES DUPLAS.....	80
4.5 FLUXO DE CALOR NAS AMOSTRAS DE PAREDES SIMPLES.....	87
5.CONCLUSÃO.....	90
5.1 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS.....	90
5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
5.3 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	92
REFERÊNCIAS.....	93
APÊNDICES.....	97
APÊNDICE A.....	98
APÊNDICE B.....	99
APÊNDICE C.....	103

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O setor da indústria de calçados tem tido grande crescimento no Estado da Paraíba, sendo considerado um dos grandes polos calçadistas do Brasil. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Calçados-Abicalçados (2013), o Brasil é o terceiro maior produtor de calçados no ranking mundial, com 819 milhões de pares produzidos por ano, exportando 113 milhões de pares em 2012 para mais de 100 países.

A Paraíba é o segundo maior estado exportador calçadista do Brasil, atingindo a marca de 25 milhões de pares vendidos para o exterior, possuindo cerca de 300 empresas em todo o estado, empregando aproximadamente 25 mil funcionários. Durante a fabricação dos calçados, geram-se vários tipos de resíduos, entre eles os de Etileno Acetado de Vinila (EVA), na forma de retalhos inevitáveis das placas expandidas do material para obtenção dos formatos dos calçados. Tais resíduos são apenas parcialmente (cerca de 20%) reaproveitados no próprio processo de produção, devido às limitações de suas características físicas.

O estudo a cerca de alternativas para um destino adequado dos resíduos de Etileno Acetado de Vinila (EVA) tem sido alvo das pesquisas, e já se sabe que esses têm grande potencial para serem utilizados como agregados leves, em substituição aos agregados naturais, na confecção de blocos utilizados em alvenarias na construção civil. O bloco EVA que tem sido proposto é um pré-moldado, produzido com concreto leve, que contempla a reciclagem de resíduos (Etileno Acetato de Vinila-EVA) da indústria de calçados. De fato, na alternativa da reciclagem, a construção civil tem grande potencial para absorver resíduos dos outros setores industriais. Isso se justifica pela grande variedade de matérias primas e pelo grande número de componentes aplicados no processo da construção civil.

O tema abordado na presente pesquisa também está relacionado com os ganhos térmicos adquiridos pelas vedações verticais e o conforto térmico dos ambientes construídos. Em geral, os ambientes que não possuem o tipo de alvenaria adequada ao seu clima geram problemas de

conforto térmico devido à perda, ou ganho excessivo de calor. Esta última situação é crítica para os edifícios construídos em regiões com clima predominantemente quente seco e quente úmido, como é o caso do Nordeste do Brasil. De fato, segundo Bittencourt (2008) o grau de influência exercido pelos parâmetros climáticos nos edifícios varia, entre outros aspectos, de acordo com cada região climática.

Nas construções que se localizam dentro da faixa equatorial, em especial nas regiões quentes e úmidas, onde as flutuações diárias e sazonais de temperatura do ar são pequenas e os níveis de umidade são geralmente altos, o resfriamento deve ser o principal objetivo do conforto térmico nos projetos de arquitetura. Mas, antes da aplicação de técnicas de resfriamento passivo, é importante evitar ganho de calor advindo das apreciáveis cargas de radiação solar, que atingem o envelope da construção.

As diretrizes construtivas, utilizando o zoneamento bioclimático brasileiro (NBR 15220-3, ABNT, 2005a), entre várias recomendações e procedimentos normativos para alvenarias, indicam o emprego de verticais leves para o clima quente e úmido. Portanto, o resfriamento passivo através da escolha dos componentes construtivos para a alvenaria, com desempenho térmico adequado, é uma estratégia desejável e isso gera expectativa em relação ao desempenho térmico dos sistemas construtivos que se optam na execução do envelope da construção. De fato, as edificações devem reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando o tipo de clima da implantação da obra.

Considerando-se o desconforto térmico dos ambientes devido a má utilização de elementos apropriados nas alvenarias das edificações, assim como, a problemática do destino dos resíduos de EVA, surge a importância de ampliar a caracterização do desempenho térmico dos blocos compostos por estes resíduos. Portanto, faz-se necessário verificar se os sistemas de vedações verticais, compostos por blocos EVA, podem contribuir para melhorar o desempenho térmico de alvenarias para o clima quente seco e quente úmido. Acredita-se que alvenarias compostas por blocos EVA possam contribuir para o desempenho térmico de vedações, por isso, a importância de conhecer melhor suas características. Esse trabalho, cujo objetivos são postos a seguir, procura colaborar com isso.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho térmico de paredes com uso de blocos EVA, identificado o sistema que se apresenta melhor para o clima quente e seco e quente e úmido.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar o desempenho térmico de sistemas de paredes com o uso de blocos EVA em diferentes configurações;
- Analisar a influência do teor de resíduos incorporados as amostras paredes com EVA no desempenho térmico de paredes simples e duplas;
- Caracterizar a influência do volume de ar, aprisionado em câmaras não ventiladas dos blocos, e seus impactos no desempenho térmico das paredes.

2

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE O ETILENO ACETATO DE VINILA- EVA

O Etileno acetato de vinila (EVA), é um polímero micro-poroso e o percentual de acetato de vinila define as características do seu composto final. Na medida em que se tem maior quantidade de acetato de vinila, suas propriedades se assemelham às da borracha. Diminuindo esta quantidade, o EVA assume características similares ao do polietileno de baixa densidade (PREZOTTO *apud* GARLET 1998).

Para Polari (2005) o EVA é um produto que possui características físico-químicas diferenciadas dos demais elementos utilizados na construção civil, e como resíduo, tem grande potencial na formação de novos produtos. Algumas vantagens destacadas pelo autor é que o EVA apresenta além de baixa densidade, bom isolamento acústico e térmico.

2.1.1 Os resíduos de Etileno Acetato de Vinila- EVA

Segundo Bezerra (2002), durante o processo de fabricação de calçados são gerados dois tipos de resíduos. Os primeiros são inevitáveis, sobras das placas expandidas oriundas do processo de obtenção dos formatos dos calçados (cortes) e possíveis refugos de solado, entressola ou palmilha do calçado. O segundo é o pó oriundo do lixamento do calçado na fase de acabamento. Esse pó é relativamente fácil de processar, mas os resíduos das placas expandidas são de difícil e lento reaproveitamento (Figura 1).

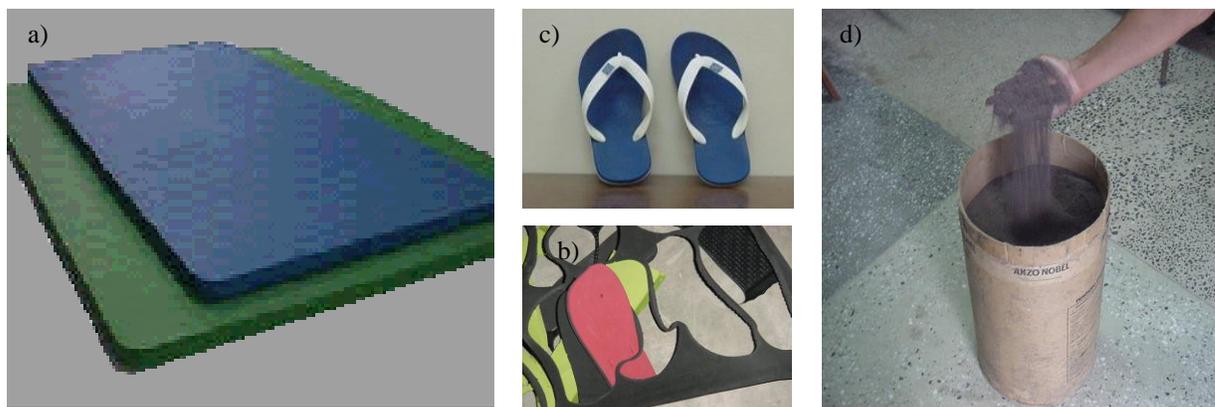


Figura 1. a) Manta de EVA; b) Detalhe do resíduo gerado durante o processo de fabricação de calçados em forma de aparas de sandálias; c) sandálias feitas com EVA; d) resíduos em forma de pó.

Fonte: Bezerra (2002) e Autora (2015)

Este volume de resíduos excedentes tem-se mostrado como um problema ambiental nas regiões que possuem pólos industriais de calçados, pois a deposição destes em aterros sanitários representa sérias implicações devido a sua baixa biodegradabilidade. Além disso, sua incineração não é recomendada devido à liberação de gases tóxicos (LIMA FILHO 2008).

Os resíduos de Etileno acetato de vinila (EVA) não são biodegradáveis e não podem ser reprocessados pois este é um polímero termofixo, o que torna a reação irreversível. Além disso, a armazenagem ou deposição a céu aberto desse tipo de material causa problemas que vão desde a poluição visual, até a possibilidade de proliferação de insetos e também de combustão deste material (Figura 2).



Figura 2. Resíduos da indústria de calçados

Fonte: PIMENTEL (2005)

Segundo Garlet (1998), o EVA é um resíduo de baixa massa específica, grande capacidade de deformação, tem boas características acústicas e térmicas, é estável, inerte e não suscetível a fungos. Suas aplicações e vantagens para o uso, na construção civil, de compósitos leves obtidos a partir de agregados de EVA podem ser: enchimento para lajes rebaixadas, isolamento acústico entre pavimentos, isolamento térmico nas lajes de forro, entre outros. Isso evidencia o grande potencial desse resíduo para uso em diversos componentes e sistemas na construção civil, sem função estrutural.

2.1.2 O EVA como alternativa para blocos de alvenaria não estrutural

O EVA, conforme já foi visto nos trabalhos de Garlet (1998), Bezerra (2002) e Polari Filho (2005), após sua reciclagem, pode ser utilizado como matéria-prima para a formação de blocos leves de vedação (bloco EVA) para aplicação na construção civil. O concreto leve com agregado de EVA pode ser utilizado na produção de blocos não estruturais ou de vedação. O bloco EVA que tem sido proposto neste trabalho é um pré-moldado, produzido com concreto leve, que contempla a reciclagem de resíduos (Etileno Acetato de Vinila-EVA) da indústria de calçados.

Os blocos EVA vem sendo propostos em pesquisas que têm sido desenvolvidas na UFPB-CT-LABEME (BEZERRA, 2002; POLARI FILHO 2005; MELO e LIMA FILHO, 2008; ROCHA, 2008). Bezerra (2002) destaca como características favoráveis para o bloco EVA, os potenciais ganhos na hipótese de sua aplicação, tais como: menor peso próprio da alvenaria; maior produtividade na execução de paredes (pela leveza do pré-moldado); facilidade de corte dos elementos com menor geração de resíduos da construção civil.

Para Garlet (1998), a propriedade marcante dos compósitos avaliados foi à baixa rigidez, comportamento atribuído às propriedades do agregado de EVA (baixo módulo de deformação). Desse modo, conclui-se que o grande potencial de aplicação desse compósito é para o isolamento térmico.

Polari Filho (2005), sugere a dosagem 1:5 (em volume), com 60% de EVA substituindo os agregados naturais, para a produção dos blocos EVA, que podem chegar a atender ao requisito de resistência à compressão igual a 1,3 MPa (aos 28 dias). O bom desempenho mecânico com base em avaliações de cargas de ocupação e impactos nas paredes de um protótipo construído com blocos EVA (impactos de corpo mole e duro, solicitações transmitidas por fechamentos bruscos

de porta e cargas provenientes de peças suspensas) demonstram que esse valor, 1,3 MPa, é suficiente como resistência à compressão mínima para o componente (MELO e LIMA FILHO, 2008).

A partir desses estudos, que sugerem viabilidade na utilização do bloco EVA em alvenaria não estrutural, é importante determinar a possível melhoria relativa ao conforto térmico proporcionado por tal material. Os primeiros resultados visando a caracterização do desempenho térmico dos blocos EVA são encorajadores e geram expectativas positivas no sentido de agregar valor ao componente. De acordo com Silva, Cahino e Melo (2012), a geometria e a espessura dos blocos EVA, bem como o teor de EVA incorporado, influenciam no desempenho dos componentes, sendo mais destacada a influência do teor de EVA.

Além disso, um estudo realizado por Silva, Cahino e Melo (2012) mostra o seu eficaz desempenho térmico, quando analisou o desempenho térmico do compósito utilizado na fabricação dos blocos EVA. Para isso, realizaram-se ensaios de condutividade térmica, baseados na medição da resistência térmica pelo método fluxométrico, conforme a NBR 15220-5 (ABNT, 2005c) e com os dados obtidos, foram desenvolvidos cálculos para vários parâmetros (resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico) que foram utilizados para caracterizar o desempenho dos componentes em análise, como previsto na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b).

No estudo de Silva, Cahino e Melo (2012) percebeu-se que é o teor de EVA presente no bloco é o que mais influencia na variação de temperatura, pois quando há o mesmo teor de EVA (EVA 60% 12,5 e EVA 60% 14) as diferenças entre as variações de temperaturas são praticamente iguais. Entretanto, com mesma espessura e teor de EVA diferentes (EVA 80% 12,5 e EVA 60% 12,5) o efeito de barreira à passagem de calor entre as faces exposta e oposta ao calor foi notável com a maior diferença de temperatura para aquela com maior teor de EVA. Os ensaios de condutividade térmica para as amostras confeccionadas com EVA nas proporções 60% e 80%, foram 0,77 W/m.K e 0,66 W/m.K, respectivamente.

2.2 ELEMENTOS VERTICAIS NAS EDIFICAÇÕES

A utilização da alvenaria como principal forma de vedação tem acompanhado o homem durante toda a sua história. Na antiguidade tem-se notícia da utilização de tijolos secados ao sol,

nas construções persas e assírias, já a partir de 10.000 a.c., e de tijolos queimados em fornos a 3.000 a.c.. No Brasil, no período colonial as principais técnicas construtivas para a produção das vedações verticais eram o pau-a-pique, o adobe ou a taipa de pilão, para as moradias mais simples; e a pedra e o barro e, em alguns poucos casos, o tijolo e a cal. Todas elas contendo apenas pavimento térreo, ou no máximo sobrado (REIS FILHO, 1978).

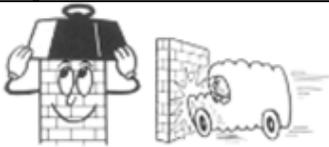
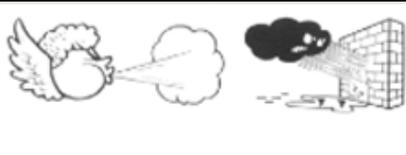
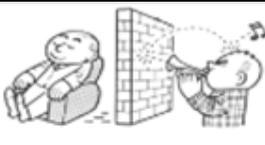
Segundo Sabbatini (1984) a alvenaria pode ser caracterizada como uma obra (*construction work*) produzida no canteiro (moldada no local) resultante da união de tijolos ou blocos (componentes de alvenaria) através de juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso. O componente de alvenaria é um elemento de produção industrial, de dimensões e peso que o torna manuseável, de geometria regular (formato de paralelepípedo), adequado para compor uma alvenaria. Os componentes são representados pelos tijolos e blocos. Já as juntas de argamassa são produzidas a partir de um material sem forma definida, aplicada no estado plástico, que após o seu endurecimento apresenta forma e funções bem definidas.

A vedação vertical é o subsistema que tem como principais funções compartimentar a edificação permitindo o adequado desenvolvimento das atividades para as quais elas foram projetadas. Constitui-se além dos vedos que definem a tecnologia de produção e são os principais responsáveis pelo desempenho global da vedação vertical, dos revestimentos e das esquadrias existentes sobre as paredes.

Além disso, a vedação vertical possui interface com vários outros subsistemas do edifício, como a estrutura, as instalações, as vedações horizontais, impermeabilizações, entre outros. Ela é também um dos principais subsistemas que condicionam o desempenho do edifício, sendo a principal responsável por características ligadas ao conforto higro-térmico e acústico, pela segurança de utilização e frente a ações excepcionais, como em caso de incêndios.

De acordo com Sabbatini (1988) suas características condicionam também a possibilidade de ocorrência de problemas patológicos, nos seus próprios componentes- alvenaria e revestimentos- ou nos subsistemas que nela estão localizados, como as instalações prediais, ou ainda nos problemas de interface com os demais subsistemas dos edifícios. Apesar de diferenças importantes entre as exigências aplicáveis às paredes exteriores e interiores sintetizam-se no Quadro 1 as mais importantes.

Quadro 1. Principais exigências aplicáveis a paredes de alvenaria

Estabilidade	
Segurança ao fogo	
Estanquidade à água e ao ar	
Conforto térmico e acústico	
Durabilidade e facilidade de manutenção	
Economia/ Facilidade de execução	
Estética	

Fonte: Letertre e Renaud (1978)

A concepção da vedação vertical reveste-se de grande importância quanto ao edifício em execução. Além de ajudar na proteção lateral dos ambientes criados, a sua escolha também exerce influência quanto ao processo construtivo como um todo (obrigatoriedade ou não de uso de guias; embutimento ou não de eletrodutos; etc); papel fundamental quanto ao desempenho do edifício do ponto de vista térmico, acústico, relativo à estanqueidade, etc.

De acordo com Souza (1998) a vedação vertical pode ser constituída por diferentes sistemas, podendo-se classificar as opções disponíveis de diversas maneiras. Em particular, quanto à densidade superficial da vedação, pode-se citar:

- As vedações leves, representadas por elementos de pequena densidade superficial não estruturais, que podem ser subdivididas em: divisórias e elementos de fachada;
- As vedações pesadas, representadas por elementos com função estrutural ou não e com densidade superficial elevada.

Nesta pesquisa, iremos trabalhar com as alvenarias de vedações verticais leves e pesadas, sem função estrutural, usadas como elementos de divisão e fachada.

2.1.1 Desempenho térmico de paredes externas nos edifícios

O processo de construir uma edificação adaptada ao clima, pode ser dividido em quatro passos: O primeiro em direção ao ajuste ambiental é o levantamento de elementos climáticos de um dado local. Sendo o homem a medida fundamental na arquitetura e o abrigo, projetado para satisfazer suas necessidades biológicas; o segundo passo é avaliar cada impacto do clima em termos psico-fisiológicos; como terceiro passo, uma solução tecnológica deve ser aplicada para cada problema conforto-clima; o quarto é a expressão arquitetônica (OLGYAY, 1973).

Para Ruas (1999) conforto térmico pode ser definido como a sensação de bem-estar experimentada por um indivíduo, resultado da combinação dos agentes climáticos: temperatura, umidade relativa do ar e ventilação, as atividades desenvolvidas e a vestimenta utilizada. Durante o projeto é importante decidir sobre a natureza dos materiais utilizados na edificação. As propriedades destes materiais têm uma forte influência sobre a condução de calor para o ambiente interno.

Um melhor aproveitamento do clima pode ser obtido pelo planejamento apropriado de detalhes da edificação. A escolha do tipo da edificação e *layout* adequados é muito importante, assim como a orientação certa. Algumas decisões quanto à localização de aberturas, por exemplo, podem melhorar a ventilação cruzada de um ambiente.

Segundo Frota e Schiffer (2001) o sol, importante fonte de calor, incide sobre o edifício representando sempre um certo ganho de calor, que será função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas dos parâmetros do edifício. No caso de uma parede opaca exposta a radiação sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que os separa, os mecanismos de troca podem ser esquematizados como mostra na Figura 3.

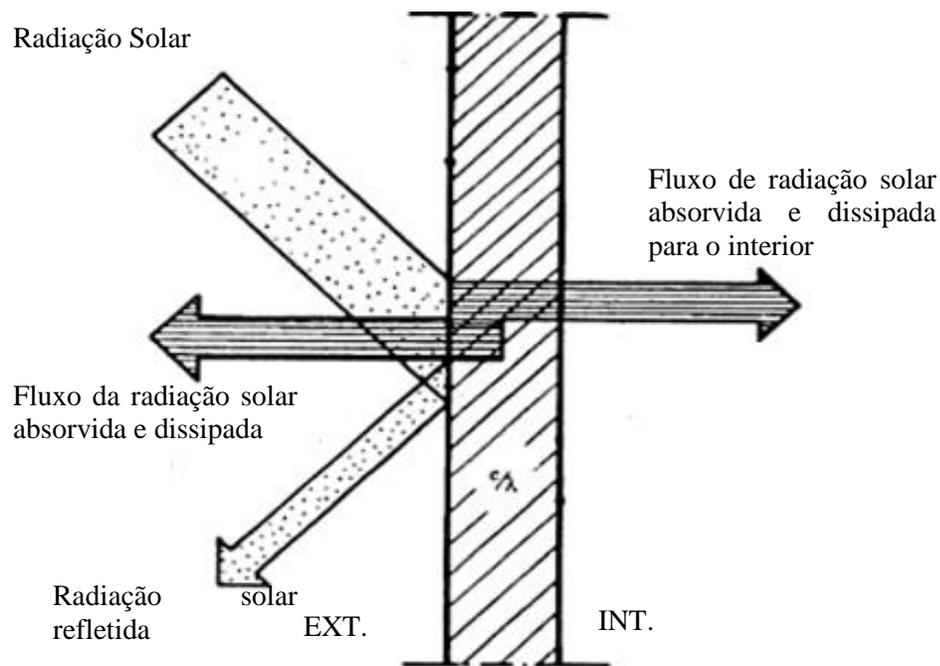


Figura 3. Trocas de calor através de paredes opacas
Fonte: Frota & Schiffer (2001)

Segundo Van Deventer (1971) o desempenho térmico de uma edificação depende, basicamente de dois processos: da transferência de calor através dos diferentes componentes da estrutura e do fluxo de ar por ventilação e/ou infiltração. A razão do fluxo de calor através da estrutura é determinada pelas propriedades térmicas e físicas dos seus componentes e pelos elementos climáticos aos quais estão expostos, principalmente temperatura do ar, radiação solar, umidade e vento. No que diz respeito à ventilação, os fatores determinantes são a orientação, tamanho e posição das aberturas, temperatura do ar e regime de ventos.

Outro fator que deve ser levado em consideração é a cor. As cores das paredes externas da edificação influenciam na condução de calor através dos seus elementos de composição. Cores claras, principalmente a branca, tem uma alta refletividade, diminuindo a transmissão de calor. Recomenda-se o uso de cores claras em climas quentes, onde existe um grande ganho de calor pela radiação solar pela superfície.

2.1.2 Sistema de paredes duplas

Parede dupla é uma junção de dois panos de alvenaria, separados por uma câmara de ar. Para obter a inércia térmica de uma alvenaria dupla só é contabilizada a massa que está entre o isolamento e o interior.

A quantidade de calor armazenado por um dado elemento construtivo depende de vários fatores, como as propriedades termofísicas dos materiais que o constituem, a área e a espessura desse elemento. A distribuição interna das temperaturas, a evolução das temperaturas ambientes dos dois lados do elemento armazenador, a localização desse elemento e, ainda, se esse elemento está ou não sob a ação direta da radiação solar. (ALMEIDA *et al*, 1997).

Os espaços de ar confinados, portanto não ventilados, entre duas lâminas paralelas, apresentam resistência térmica que será função dos seguintes fatores: espessura da lâmina de ar, sentido do fluxo térmico e emissividade das superfícies em confronto. A Tabela 1, apresenta valores de resistência térmica de espaços de ar (Rar) confinados entre duas lâminas paralelas, quando a posição do ar encontra-se no sentido vertical.

Tabela 1. Valores de resistência térmica de espaços de ar (Rar)

Posição Espaço de Ar	Direção e Sentido do Fluxo de Calor	Espessura do Espaço de Ar (cm)	Temperatura das faces		Rar(m ² °C/W), para ϵ_r			
			Média (°C)	Diferença (°C)	0,82	0,47	0,20	0,11
vertical	horizontal	2 a 10	32	5,5	0,15	0,22	0,38	0,51
			10	5,5	0,18	0,26	0,41	0,54

sendo:

$$\epsilon_r = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

para:

ϵ_r = emissividade térmica relativa

ϵ_1 e ϵ_2 = emissividade de cada uma das lâminas paralelas que confinam o espaço de ar

Fonte: Gomes *apud* Frota & Schiffer (2001)

Em um estudo feito em Portugal por Da Silva (2007) que comparou o desempenho térmico de paredes duplas com o de uma parede simples, analisando seus respectivos níveis de isolamento, verificou-se que uma parede simples com espessura de 22 cm (composta por tijolos furados) apresenta pior desempenho térmico que paredes duplas (com 11 cm + 11 cm / 11 cm + 15 cm). O estudo também relatou que usando uma parede dupla com 11 cm + 11 cm ou com 11

cm + 15 cm (também compostas por tijolos furados), o isolamento é maior do que quando se usa a parede simples. Com o uso das paredes simples, a inércia térmica dos edifícios foi drasticamente reduzida, o que não é favorável ao clima do país.

Quanto a espessura de isolamento, em termos médios, ao passar 2 cm (situação corrente na construção atual do país) para 4 cm, as necessidades energéticas reduzem-se em cerca de 12% e que ao passar de 4 cm para 6 cm essa redução aumenta cerca de 6%. E por fim, quando sobe de 6 cm para 8 cm conduz apenas a uma redução de 3% nessas necessidades (DA SILVA, 2007).

Para DA SILVA (2007) se for comparada a complexidade envolvida na execução de uma parede dupla em relação a uma parede simples, levando em consideração o previsível aumento dos custos da mão da obra da construção, além da dificuldade que os construtores possuem em executar uma parede dupla, terá provavelmente como consequência, o abandono da parede dupla em detrimento da adoção de soluções mais simples.

2.3 CALOR

O calor é uma forma de energia em trânsito através da fronteira de um sistema. Ele é transferido de um sistema numa dada temperatura a outro sistema ou meio em uma temperatura inferior, em virtude dessa diferença de temperaturas. Um corpo nunca contém calor, isto é, o calor só pode ser identificado quando atravessa a fronteira do sistema.

Ocorre transferência de calor entre partículas mais energéticas para outras menos energéticas, e só há transferência de calor quando existe diferença de temperatura. O calor é, portanto, uma energia em movimento. Para Coutinho (2005) a quantidade de calor transferida por unidade de tempo é denominada taxa de transferência de calor, já o fluxo de calor é a taxa de transferência de calor por unidade de tempo.

A transferência de calor é fundamental para todos os ramos da engenharia e para a arquitetura. Em projetos é indispensável saber o quanto de isolamento térmico garante conforto aos ambientes. Os Regimes de transferências de calor podem ser transitórios ou permanentes. O transitório é um processo em que as propriedades de um sistema, inclusive sua temperatura variam a cada instante, já no regime permanente elas mantêm-se sempre constante com o tempo.

Coutinho (2005) diz que esses dois regimes podem ser observados quando se acende um forno, suas paredes inicialmente frias, vão se aquecendo aos poucos, até o instante em que a

temperatura de cada face deixa de se elevar. Até esse instante, o regime era transitório, depois se passou a ter o regime permanente. Em uma edificação, acontece o regime permanente, quando as condições térmicas das superfícies internas (temperatura e fluxo de calor) atingem uma situação de equilíbrio, mantendo os mesmos padrões de comportamento após uma sequência de dias com características semelhantes, quanto à variação da temperatura, umidade e insolação.

De acordo com Frota e Schiffer (2001) para a compreensão do comportamento térmico das edificações, é necessária uma base conceitual de fenômenos de trocas térmicas. Isso existe por que corpos que estejam a temperaturas diferentes trocam calor, os mais “quentes” perdendo e os mais frios “ganhando”. As trocas de calor que envolvem variações de temperaturas são denominadas trocas secas; em contraposição a denominação trocas úmidas, que se referem a evaporação e a condensação do vapor de água.

São três os mecanismos de transmissão de calor e esses fenômenos em geral ocorrem simultaneamente (podendo haver predominância de um deles):

- a) Convecção: entre fluido e uma superfície sólida;
- b) Radiação: entre corpos à distância, separados pelo vácuo ou por uma substância que lhe seja transparente;
- c) Condução: predominantemente através dos corpos sólidos, podendo também ocorrer através dos fluidos, se estiverem parados.

2.3.1 Convecção

Segundo Coutinho (2005), a troca do calor por convecção é função da velocidade, e densidade do fluido, bem como da forma e da rugosidade da superfície. No caso das paredes os parâmetros mais importantes são a velocidade do ar e o acabamento superficial. A convecção pode ser natural ou forçada. No primeiro caso o ar permanece parado, ocorrendo movimentos de moléculas quentes para cima e moléculas frias para baixo, haja vista a variação de densidade. No segundo caso, a convecção é provocada por máquinas ou pela velocidade do vento.

De acordo com Frota e Shiffer (2001), no caso de superfície horizontal, o sentido do fluxo desempenha importante papel. Quando o fluxo é ascendente, há coincidência do sentido do fluxo com o natural deslocamento ascendente das massas de ar aquecidas, enquanto no caso de fluxo descendente, o ar, aquecido pelo contato com a superfície, encontra nela mesma uma barreira

para sua ascensão, dificultando a convecção, seu deslocamento e sua substituição por nova camada de ar à temperatura inferior à sua.

2.3.2 Radiação

Radiação é o mecanismo de troca de calor entre dois corpos, que guardam entre si uma distância qualquer, através de sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica. Esse mecanismo de troca é consequência da natureza eletromagnética da energia, que ao ser absorvida provoca efeitos térmicos, o que permite sua transmissão sem necessidade de meio para propagação, ocorrendo mesmo no vácuo (FROTA E SCHIFFER, 2001).

Todo corpo com temperatura superior a 0K (-273°C) emite calor por radiação, através do vácuo ou de materiais transparentes à referida radiação e o fluxo máximo de calor é emitido por um corpo ideal que é chamado corpo negro. Os corpos reais emitem e absorvem menos calor radiante (COUTINHO, 2005).

A emissividade é uma propriedade que define a capacidade de uma superfície emitir calor por radiação, cujo valor varia entre 0 e 1, dependendo da cor e do acabamento superficiais. A principal fonte de energia radiante conhecida é o sol, sendo que em regiões de baixa latitude, como no norte do Brasil, a radiação solar é o principal fator de ganho térmico em edificações. Dessa forma, a análise do comportamento dos materiais utilizados nos fechamentos opacos que compõem o envelope construtivo é imprescindível à análise da eficiência energética das edificações.

2.3.3 Condução

A condução é uma transferência de calor que ocorre entre um sólido ou um fluido e depende somente de um ΔT (variação de temperatura), ela acontece de uma região de alta temperatura para uma região de baixa temperatura dentro de um meio com contato direto. A condução de calor pode ser assumida como transferência de energia de partículas de maior nível energético para partículas com nível energético inferior. Ao colocarmos uma das extremidades de uma barra de aço ao fogo, verificamos que outra se aquece gradativamente, pois as partículas próximas ao fogo se tornam mais vibrantes transmitem sua vibração para as vizinhas imediatas,

estas por sua vez, transmitem para as seguintes até alcançarem a outra extremidade que, após algum tempo, não pode ser segurada com as mãos desprotegidas.

Em função da estrutura molecular, cada material possui sua capacidade particular de transmitir calor. Os metais têm moléculas mais compactas que as substâncias não-metálicas e por isto, transmitem melhor o calor. Os sólidos orgânicos, com estrutura cristalina menos organizada, têm menor capacidade. Materiais orgânicos e fibrosos têm grande dificuldade de transmitir calor e por essa razão são conhecidos como isolantes térmicos. Essa capacidade de permitir a condução de calor é conhecida como condutividade térmica.

A condutividade térmica (k) é uma propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro (ABNT, 2005a). Sua unidade no Sistema internacional (SI) é $\text{W}/(\text{m.K})$ e a partir desta propriedade é possível estimar, por exemplo, o fluxo de calor através de uma parede.

Quanto maior for a condutividade térmica de um material, melhor condutor ele é e menor será a resistência térmica do elemento ou componente construtivo. Para Frota & Schiffer (2001), o coeficiente de condutibilidade térmica do material é definido como sendo “o fluxo de calor que passa, na unidade de tempo, através da unidade de área de uma parede com espessura unitária e dimensões suficientemente grandes para que fique eliminada a influência de contorno, quando se estabelece, entre os parâmetros dessa parede, uma diferença de temperatura unitária”. Este coeficiente depende da densidade do material, pois a matéria é sempre muito mais condutora que o ar contido em seus poros.

A lei básica para o estudo da transferência de calor é a lei de Fourier. Ozisik (1990) descreve a Lei de Fourier da seguinte forma: o calor transferido por condução é diretamente proporcional a área, a condutividade térmica do material e a diferença de temperatura; e inversamente proporcional ao comprimento (ou espessura) do material. Quando uma parede plana e uniforme é submetida a uma diferença de temperatura, e essa transferência de calor acontece em regime permanente (o calor não varia com o tempo), pode-se obter o fluxo de calor que atravessa essa parede por condução considerando a diferença de temperatura entre suas faces e o valor da condutividade térmica (Figura 4).

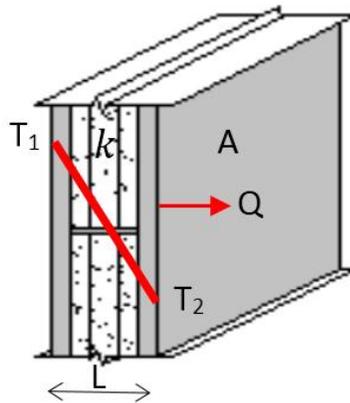


Figura 4. Transferência de calor em uma parede plana.

O fluxo de calor pode ser expresso então da seguinte forma (1):

$$Q = \frac{k \cdot A}{L} \Delta T \quad (1)$$

onde:

Q –fluxo de calor (W);

k – condutividade térmica (W/m·°K);

ΔT – diferença de temperatura entre as superfícies (K);

L- espessura da parede (m).

Para determinar a influência que o tipo de material tem sobre a intensidade de fluxo através da parede, utiliza-se a propriedade térmica denominada de condutividade térmica (k). Materiais bons condutores de calor têm valores de k elevados e quanto maior o valor de k, maior será o fluxo de calor através da parede e, portanto, a temperatura da face interna (INCROPERA *et al.*, 2008).

A transmitância térmica é uma propriedade, dos componentes construtivos, relacionada à permissão da passagem de energia, medida em W/m².K. Ela também está relacionada à condutividade térmica e à espessura do componente e dos seus materiais constituintes, e representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de energia por unidade de área e de diferença de temperatura. Além da condutividade térmica, os materiais possuem outras propriedades termofísicas, como a densidade e calor específicos.

O calor específico é a quantidade de calor necessária para elevar em 1K ou 1°C a unidade de massa de uma substância considerada. Ou seja, o calor específico (c) ou capacidade térmica específica é o quociente da capacidade térmica pela massa, caracterizando a capacidade de um material acumular calor (ABNT, 2005a). Verifica-se um intervalo de variação pequeno para a maioria dos materiais de construção, entre 500 e 2000 J/kg.K. Uma exceção relevante é a madeira, cujo calor específico está situado entre 1.500 e 2.510 J/kg.K. A água é, no entanto, a matéria comum com um maior calor específico, sendo apenas ultrapassada pelo Hidrogénio e Amoníaco, que não são materiais aplicáveis em construção (DA SILVA, 2007).

2.3.3.1 Capacidade térmica

A capacidade de um corpo armazenar calor chama-se capacidade térmica ou massa térmica. Os elementos construtivos leves têm uma menor capacidade de armazenamento térmico do que os elementos pesados. Mas não só o peso do material vai ter influência, também o seu calor específico. Todo material tem a capacidade de armazenar calor, conforme a equação (2):

$$CT= m \cdot c \quad (2)$$

onde:

CT- capacidade térmica (kJ/m². K);

m- massa superficial do elemento construtivo (kg);

c- calor específico do material (J/kg.K).

A capacidade térmica também pode ser definida em função do volume e da espessura, tendo-se então, a capacidade térmica volumétrica (kJ/m³. K) e por área (kJ/m².K). De acordo com Figueira (2006), uma capacidade térmica elevada não garante por si só uma melhor regulação térmica na construção. Em uma parede exterior, por exemplo, uma parte do calor aprisionado é evacuada em direção ao exterior quando a temperatura baixa. No interior da parede uma parte vai para a superfície interna, e outra para a superfície externa, quando a temperatura desta se torna mais baixa.

Quanto maior for a capacidade térmica dos componentes de uma edificação (paredes e cobertura), maior será sua inércia térmica e, por conseguinte, maior o amortecimento dos picos de temperatura internos em relação aos valores correspondentes no ambiente externo.

2.3.3.2 Inércia térmica e atraso (ou ganho)

A inércia térmica depende das características térmicas da envolvente e dos componentes construtivos internos. Segundo Frota e Schiffer (2001) geralmente os fechamentos absorvem calor tanto do exterior quanto do interior, dependendo de onde o ar tiver a maior temperatura. Ao conduzir o calor para o outro lado, o material retém uma parte no seu interior, como consequência de sua massa térmica e respectivo calor específico.

As propriedades de atraso térmico e amortecimento térmico estão associadas à inércia térmica justamente porque o fluxo de calor é periódico. A inércia térmica é função das propriedades termofísicas- condutividade, densidade e calor específico. A alta inércia térmica é desejada em locais onde a amplitude térmica, entre o período diurno e noturno, é muito alta. Os revestimentos desempenham importante papel, pois revestimentos isolantes reduzem as trocas de calor através da envoltória. O atraso térmico será tanto maior, quanto maior for à inércia da construção.

No clima quente e úmido às construções não devem ter uma inércia muito grande, pois isto dificulta a retirada do calor interno armazenado durante o dia, prejudicando o resfriamento da construção quando a temperatura externa noturna está mais agradável que internamente. Nesse sentido, deve-se prever uma inércia de média a leve, porém com elementos isolantes nos vedos, para impedir que grande parte do calor da radiação solar recebida pelos vedos atravesse a construção e gere calor interno em demasia (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Atraso térmico (φ) é o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor (ABNT, 2005a), sendo sua unidade dada em h (horas). O atraso térmico indica o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo. Por exemplo: o tempo transcorrido entre o pico de temperatura máxima externa e a temperatura máxima interna.

2.4 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

O conceito de Arquitetura bioclimática que ao longo das últimas décadas tem sido atribuída a determinado tipo de arquitetura, pode ser definida como uma arquitetura que na sua concepção, aborda o clima como uma variável importante no processo projetual, relevando o sol, na sua interação com o edifício, para um papel fundamental no mesmo. Um conjunto de regras simples, que visam compreender quais as variáveis climáticas existentes no local, sol, vento, água e como essas variáveis podem interagir com o edifício de forma positiva e propiciar as condições de conforto térmico adequadas a cada espaço. O conhecimento das condições climáticas externas também é importante, pois estas representam os requisitos básicos para o projeto de sistemas de ar condicionado, cálculos simplificados do consumo de energia, para simulações mais detalhadas em edificações.

A Arquitetura Bioclimática utiliza a tecnologia baseada na correta aplicação dos elementos arquitetônicos com o objetivo de fornecer ao ambiente construído, um alto grau de conforto higrotérmico com baixo consumo de energia. Alguns métodos diretos de projetos bioclimáticos aplicados à edificação utilizam cartas bioclimáticas. Estas cartas associam informações sobre a zona de conforto térmico, o comportamento climático do local e as estratégias de projeto indicadas para cada período do ano (GOULART *et al*, 1998).

2.4.1 *Considerações básicas sobre critérios climáticos no Brasil*

Koepfen *apud* Mascaró (1981), indica os climas subtropical úmido, tropical de savana, tropical de floresta como os contextos bioclimáticos que caracterizam o Brasil. Segundo Lamberts *et al.* (1997) o clima equatorial tem como contexto de referência o Amazonas, Acre e Roraima, é um clima úmido com uma amplitude térmica anual baixa. Como a variação diurna de temperatura, nos climas quentes e úmidos é pequena, o movimento de ar torna-se a principal estratégia de armazenar temperatura.

Nesse sentido, as diretrizes gerais são caracterizadas pela necessidade de permeabilidade nos espaços, devido à possibilidade de ventilação abundante (MASCARÓ, 1981). Quanto as vedações, devem ser leves e isolantes, compostas por madeira ou similares, se utilizada a estratégia de paredes duplas devem ser com câmara de ar ventiladas.

No clima tropical atlântico, característico do litoral brasileiro, as temperaturas médias variam entre 18°C (nas regiões com maiores latitudes) e 26°C (nas regiões mais próximas da linha do equador). Considerando as grandes variações de latitude na caracterização territorial do clima Tropical Atlântico, existem diferenças entre a amplitude térmica das áreas mais afastadas para as mais próximas da linha do equador. Neste contexto as paredes também e as paredes também devem ser leves e refletoras, o tijolo cerâmico é um material indicado para esta região (MASCARÓ, 1981).

O clima tropical é aquele que tem como contexto de referência o centro e o sudeste do Brasil, estas regiões sofrem interferências direta das massas frias provenientes do sul do país, gerando em alguns momentos geadas (LAMBERTS *et al*, 1997). Nas edificações para este tipo de clima é necessário minimizar os ganhos de calor das edificações, as vedações verticais devem ser pesadas, para o acúmulo de energia térmica.

Nimer (1979) classifica o Nordeste brasileiro como uma das climatologias mais complexas do mundo, devido à irregularidade espacial e temporal na distribuição das chuvas. Como consequência desse fenômeno, é possível encontrar na região Nordeste do Brasil mesorregiões geográficas muito particulares. O Nordeste está dividido em 4 mesorregiões geográficas: Zona da Mata (litoral), Agreste, Sertão e Meio Norte, cujos climas vão do superúmido, característico das zonas litorâneas, até o clima seco, quase desértico do “sertão”, conhecido como o semiárido nordestino (NIMER, 1979).

O clima semiárido brasileiro caracteriza-se, predominantemente, pela ocorrência de amplitudes significativas de temperatura do ar, tanto diária como sazonal e de grandes massas de ar quentes, carregadas de poeira. Esse clima, também denominado quente e seco, apresenta duas estações bem distintas: um longo período de seca e um curto período de chuva, radiação direta intensa e baixo teor de umidade relativa do ar (ROMERO, 1988). Para o semiárido, as paredes devem ser pesadas, o que proporciona a acumulação de calor e liberação lenta em período noturno, as paredes duplas com câmara de ar não ventiladas, são boas opções para este clima. Esse clima também toca parte do nordeste brasileiro, assim como o Centro- Oeste do Brasil, lá as vedações externas pesadas também são propícias.

2.4.2 Zoneamento bioclimático brasileiro

O zoneamento e classificação climática visa dar recomendações construtivas para que as edificações tenham um melhor desempenho térmico, o que ocorre quando é considerado as peculiaridades do clima local. Uma vez que uma edificação proporcione melhor conforto térmico em seu interior, utilizando o clima em seu favor, isto proporciona economia de energia para o usuário da edificação e benefícios para a sociedade.

A elaboração de um mapeamento bioclimático para o Brasil vem sendo desenvolvida desde a década de 80 por diferentes instituições de pesquisa. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), em 1985, desenvolveu metodologia com o objetivo de avaliar o desempenho de habitações unifamiliares térreas, estabelecendo requisitos e critérios de desempenho para os componentes das edificações em situações de inverno e de verão. Foi definido um zoneamento climático de verão, com 11 zonas, e um zoneamento climático de inverno, com 9 zonas (MADEIRA, 1999).

A metodologia utilizada na definição do atual zoneamento bioclimático brasileiro baseia-se nos desvios da zona de conforto adaptada do diagrama psicrométrico proposto por Givoni (1992). Para a classificação das cidades brasileiras, foram utilizados dados das normais climatológicas divulgadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para 330 cidades, as quais foram utilizadas, também, para estimar, através de interpolação, o clima das demais cidades.

O uso de médias mensais, no entanto, pode produzir distorções, sobretudo em regiões que apresentem amplitudes anuais e sazonais importantes, a exemplo da região climática do semiárido brasileiro. Além disso, a ausência de estações de monitoramento, em muitos dos municípios brasileiros, impede uma maior precisão nos resultados de interpolação. Alguns trabalhos têm sido recentemente desenvolvidos com a finalidade de preencher algumas dessas lacunas, identificando-se também limitações na norma, muitas vezes por falta de dados.

Hoje o território brasileiro está dividido em 8 zonas “relativamente” homogêneas quanto ao clima. O Anexo A da NBR 15220-3 (ABNT, 2005a) apresenta a relações de 330 cidades cujos climas foram classificados (Figura 5).

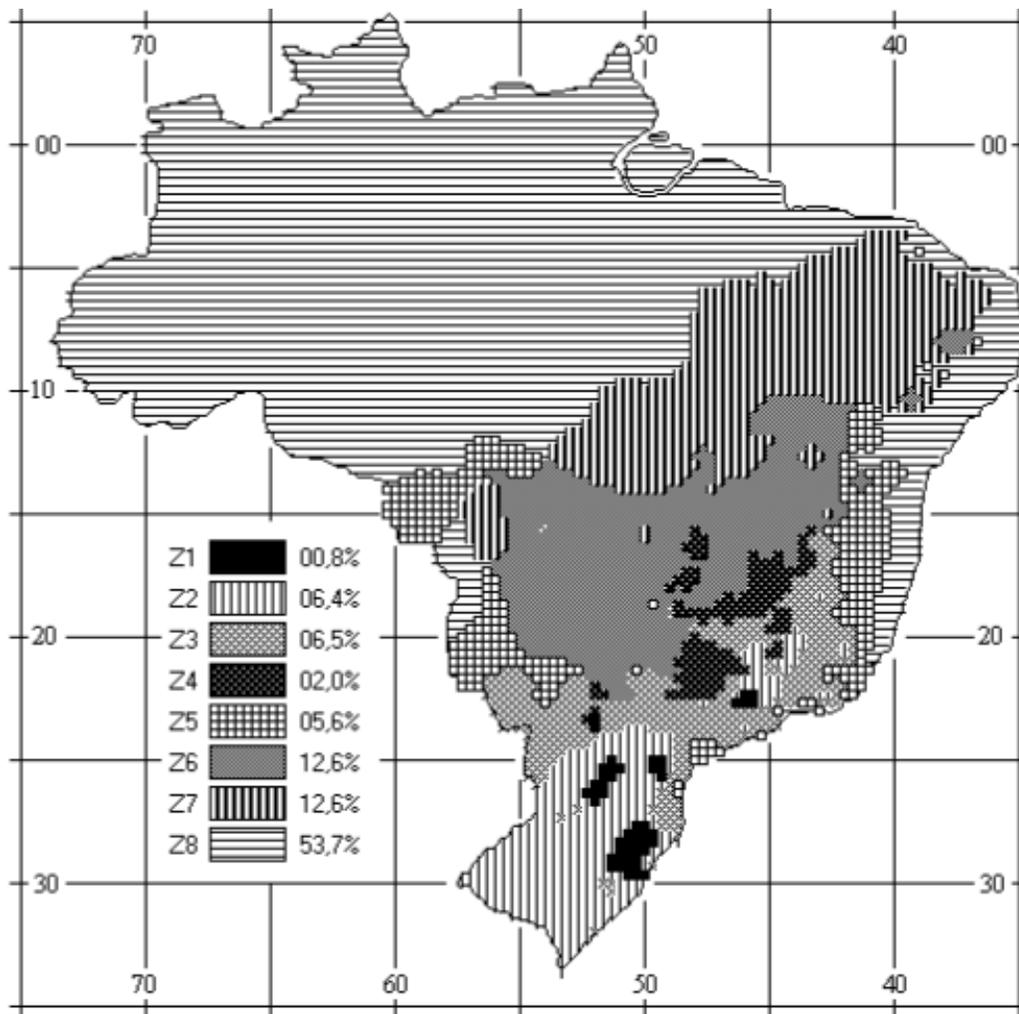


Figura 05. Zoneamento bioclimático brasileiro
Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

Na Norma Brasileira 15575-4 (ABNT, 2012) destacam-se os requisitos estabelecidos que devam ser atendidos para as paredes externas, em acordo com 8 (oito) regiões bioclimáticas. Nesta norma, para todas as regiões bioclimáticas são indicados valores a serem atendidos para capacidade térmica (CT)¹ e para transmitância térmica (U)².

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005a) além de estabelecer um zoneamento bioclimático brasileiro (8 zonas), abrange um conjunto de recomendações e estratégias construtivas para

¹ A capacidade térmica (CT) para todas as Zona Bioclimáticas deve ser maior ou igual a 130 kJ/(m².K) e para a Zona 8 é sem exigência.

² O valor da transmitância térmica (U) deve ser menor ou igual a 2,5 W/(m².K) para Zona Bioclimática 8 quando a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede for maior do que 0,6.

adequação climática das edificações com até 3 pavimentos. Entre tais recomendações, destacam-se basicamente duas delas, que se enquadram na maioria das regiões bioclimáticas, quais sejam:

1. No caso de uso de paredes externas leves, indicam-se como adequadas em 3 regiões bioclimáticas, valores de transmitância térmica (U) menor ou igual a $3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e de atraso térmico menor ou igual a 4,3 horas;
2. No caso de uso de paredes externas pesadas, com maior inércia térmica, indicam-se como adequadas em outras 3 regiões bioclimáticas, valores de transmitância térmica (U) menor ou igual a $2,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e de atraso térmico maior ou igual a 6,5 horas.

2.4.3 Diretrizes construtivas para João Pessoa-PB

A cidade de João Pessoa, capital do Estado da Paraíba, situa-se no litoral do estado, Nordeste brasileiro, na porção mais oriental das Américas, com latitude $7^{\circ}09'28''\text{S}$ e longitude de $34^{\circ}47'30''\text{O}$ e o clima da cidade é quente e úmido (FROTA E SCHIFFER, 2001). As variáveis climáticas mais intensas no clima quente e úmido são: a precipitação, a radiação solar e a ventilação. As principais recomendações de adequação ao clima são: o uso de fechamentos opacos leves; emprego de pés direitos generosos e grandes aberturas sombreadas para ventilação; proteção da radiação solar e a preservação dos canais de ventilação do entorno (BUSSOLOTI, 2008).

Para a formulação das diretrizes construtivas para cada zona bioclimática brasileira e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo, foram considerados os parâmetros e condições de contorno seguintes: tamanho das aberturas para ventilação; proteção das aberturas; vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); estratégias de condicionamento térmico passivo.

De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005a), João pessoa-PB está inserida na zona bioclimática 8. Dentre as principais solicitações térmicas para as cidades inseridas nesta zona, está o uso de grandes aberturas para ventilação e o uso de sombreamento nestas. A ventilação cruzada deve ser permanente, sendo esta obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que no ambiente que tem janelas em apenas uma fachada, a porta deve ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve se atentar para os ventos

predominantes da região e para o entorno, pois este pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005a) na zona 8, temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem. Na Tabela 2 encontram-se as diretrizes construtivas relativas à transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para paredes externas. Para a zona bioclimática em que a cidade de João Pessoa está localizada, recomenda-se nas vedações externas, o uso de paredes leves refletoras.

Tabela 2. Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa.

Vedações externas		Transmitância térmica- U W/m ² .k	Atraso térmico- φ Horas	Fator solar- FS ₀ %
Paredes	Leve	U ≤ 3,00	φ ≤ 4,3	FS ₀ ≤ 5,0
	Leve refletora	U ≤ 3,60	φ ≤ 4,3	FS ₀ ≤ 4,0
	Pesada	U ≤ 2,20	φ ≤ 6,5	FS ₀ ≤ 3,5

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005a)

3

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa foi conduzida em duas etapas, estudos teórico e experimental, que foram desenvolvidos paralelamente. A abordagem teórica contemplou as pesquisas bibliográficas sobre os assuntos correlatos ao tema problematizado, de modo que se construiu um referencial teórico, que deu suporte às discussões dos resultados obtidos no estudo experimental. A pesquisa bibliográfica foi realizada a partir de consultas a artigos de periódicos internacionais e nacionais sobre o tema, complementado pela busca de referenciais consolidados em livros, dissertações, teses e artigos publicados em anais de eventos científicos.

Os assuntos buscados na pesquisa bibliográfica vão desde os aspectos gerais sobre conforto térmico em edificações, até aspectos específicos relacionados ao desempenho térmico e comportamento de materiais, componentes e sistemas construtivos, procurando apreender os diferentes processos de avaliação desenvolvidos em estudos similares. Incluem-se nesta etapa da pesquisa a leitura e apreensão de conceitos e procedimentos experimentais normatizados pertinentes ao tema, à luz do conhecimento atual, consagrados na literatura.

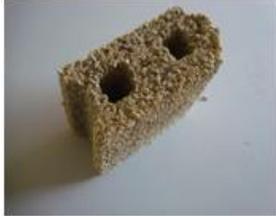
No estudo experimental buscou-se desenvolver medições em sistemas de paredes simuladas com amostras de área igual a $1,2\text{m}^2$ (medições em câmara térmica no laboratório). Além de determinar as propriedades térmicas de cada componente usado na construção de cada mini parede, foi realizada a comparação entre o desempenho térmico dos sistemas avaliados. O foco das avaliações foi na simulação de paredes externas, que recebem apreciáveis cargas de radiação solar. Nesse processo, foram analisados sistemas construtivos convencionais e compostos por blocos EVA.

3.1 ELABORAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para as medições a serem realizadas em laboratório, foram moldados blocos que constituíram amostras de sistemas de paredes para serem analisadas na câmara térmica existente no LABEME-CT-UFPB. A ideia foi reproduzir alguns sistemas de construtivos, em mini paredes

(com dimensões = 1,0 m x 1,2m). Foram realizados ensaios no interior de uma câmara térmica existente no laboratório, com as mini paredes executadas, com várias composições de blocos EVA, simulando diversos sistemas de paredes externas. Dessa forma, foi possível analisar comparativamente o desempenho térmico de vários sistemas de paredes externas (duplas e simples), variando os materiais constituintes, dentre eles: blocos de concreto, blocos EVA e tijolos cerâmicos, sendo estes últimos, os componentes mais usuais nas alvenarias das edificações na região. No Quadro 2, pode-se verificar os materiais que foram usados na composição das amostras.

Quadro 2. Componentes que foram utilizados na preparação das mini paredes

Imagem dos Blocos/tijolos	Descrição	Nomenclatura	Teor de EVA (%)	Dimensões l x h x c (cm)	Massa (kg)
	Tijolo cerâmico com oito furos	TC	-	09 x 19 x 19	2,1
	Bloco EVA com 9 cm de espessura e 60% de teor de EVA	EVA9_60%	60	09 x 19 x 39	7,3
	Bloco EVA com 14 cm de espessura e 60% do teor de EVA	EVA14_60%	60	14 x 19 x 39	9,0
	Bloco EVA com 12,5 cm e 60% de teor de EVA	EVA12,5_60%	60	12,5 x 25 x 25	8,0
	Bloco EVA com 12,5 cm e 80% de teor de EVA	EVA12,5_80%	80	25 x 25 x 12,5	7,0
	Bloco de Concreto	Concreto	-	39 x 19 x 09	10,5

Os blocos EVA9_60%, EVA14_60%, EVA12,5_60% e EVA 12,5_80% foram moldados em laboratório, e depois submetidos a testes de resistência a compressão e absorção com 7 (sete) e 28 (vinte e oito) dias, para a execução das mini paredes. Os tijolos TC e os blocos de concreto foram adquiridos no mercado local e, antes da construção das amostras, foram também submetidos aos ensaios de absorção e resistência a compressão e os resultados estão no Apêndice A.

3.1.1 Moldagem dos blocos

Etapa I- Mistura de lotes, determinação da composição granulométrica e massa unitária do EVA e da Areia

Para a moldagem dos blocos EVA foram coletados os resíduos de EVA em uma indústria de calçados do Estado da Paraíba, sendo que alguns foram disponíveis em forma de aparas e outros já chegaram moídos, em uma granulometria desconhecida. O material recebido em forma de aparas foi colocado em um moinho de facas (Figura 6c) e depois posto em um saco, junto aos demais resíduos recebidos.

Inicialmente, foi realizada a mistura dos resíduos de EVA contidos em vários sacos (Figura 6a), com o propósito de gerar um “único lote”. Para essa mistura foi utilizada uma betoneira, como mostra a Figura 6b. Depois foi realizada uma homogeneização, deixando o resíduo de EVA em único lote (de modo a deixá-lo com uma densidade mais estável, já que estes resíduos tem grande variação de densidade). Com todos estes procedimentos, os grãos também ficaram com diâmetro máximo característico igual a 9,5 mm.

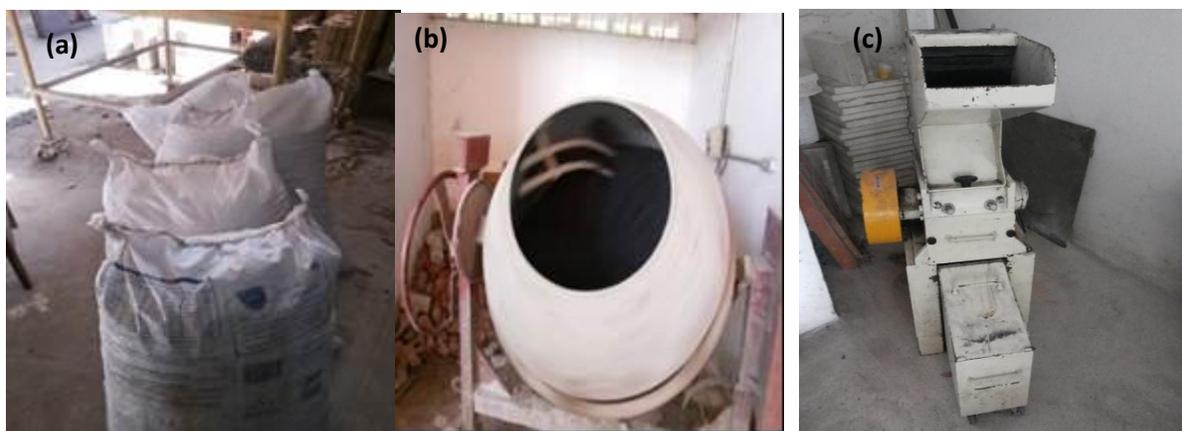


Figura 6. Mistura de lotes: (a) sacos com EVA; (b) Mistura do EVA na betoneira; (c) Moinho de facas

Após passar pelo moinho de facas, foi realizado o ensaio para determinação da composição granulométrica do EVA, de acordo com o estabelecido pela norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para determinar a granulometria, foram separadas três amostras com 200 g de EVA (Figura 7a) e um conjunto composto por nove peneiras e uma última peça identificada como “fundo” (Figura 7b). As peneiras foram previamente limpas e posteriormente encaixadas, com a abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. A amostra foi colocada sobre a peneira superior do conjunto, depois foi realizada a agitação mecânica, pelo tempo determinado na NBR NM 248 (ABNT, 2003), para permitir a separação e classificação dos diferentes tamanhos dos grãos da amostra (Figura 7c).



Figura 7. Granulometria EVA: (a) 200 g de EVA; (b) Conjunto de peneiras; (c) EVA retido em cada peneira

Posteriormente à agitação mecânica, todas as massas retidas em cada peneira foram pesadas em uma balança do tipo Marte UX822005. Na tabela 3 encontram-se os valores para as três amostras (M1, M2 e M3) da massa retida nas peneiras, a percentagem retida individualmente e a percentagem acumulada. De acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), como na peneira com a malha igual a 9,5 mm a percentagem retida acumulada teve valor imediatamente inferior a 5%, concluiu-se que o diâmetro máximo característico da amostra de EVA é igual a 9,5 mm.

Tabela 3. Ensaio de granulometria do EVA

Peneiras (mm)	Massa retida (g)			% retida individual				% retida acumulada
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	Md	
12,5	-	-	-	-	-	-	-	-
9,5	0,5	0,5	0,3	0,25	0,25	0,15	0,22	0,2
6,35	105,4	106,8	81,0	52,7	53,4	40,5	48,86	49,08
4,75	59,6	58,9	61,6	29,8	29,45	30,8	30,02	79,10
2,36	30,8	28,1	40,8	15,4	14,05	20,4	16,61	95,71
1,18	2,9	3,0	8,3	1,45	1,5	4,15	2,37	98,08
0,6	0,4	0,5	3,3	0,2	0,25	1,65	0,7	98,78
0,3	0,1	0,4	2,2	0,05	0,2	1,1	0,45	99,23
0,15	0,1	0,9	1,7	0,05	0,45	0,85	0,45	99,68
Fundo	0,2	0,9	0,8	0,1	0,45	0,4	0,32	100,0
Total	200	200	200	100	100	100	100	100,0

O mesmo procedimento foi realizado para a determinação da composição granulométrica da areia, mas antes de iniciar o procedimento, a areia foi colocada para secar a uma temperatura de 105°C (± 5) durante 24 horas, tempo suficiente para manter a constância de massa. Depois foram separadas três amostras com 1000 g de areia e o mesmo conjunto de peneiras utilizado anteriormente.

Na tabela 4 encontram-se os valores para as três amostras de areia (M1, M2 e M3), considerando a massa retida nas peneiras, a percentagem retida individualmente e a percentagem acumulada. Como na peneira com a malha de 1,8 mm a percentagem retida acumulada foi imediatamente inferior a 5% em massa, concluiu-se que o diâmetro máximo característico da areia é igual a 1,8 mm.

Tabela 4. Ensaio de granulometria da areia

Peneiras (mm)	Massa retida (g)			% retida individual				% retida acumulada
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	Md	
12,5	-	-	-	-	-	-	-	-
9,5	-	-	-	-	-	-	-	-
6,35	-	-	-	-	-	-	-	-
4,75	2,1	2,0	3,6	0,21	0,2	0,36	0,26	0,26
2,36	3,3	3,3	4,5	0,33	0,33	0,45	0,37	0,63
1,18	18,6	18,8	19,1	1,86	1,86	1,91	1,88	2,51
600	176,7	270,6	472,6	17,67	27,07	47,25	30,66	33,17
300	602,6	518,9	387,8	60,25	51,91	38,77	50,31	83,48
150	133,0	127,4	77,0	13,29	12,75	7,7	11,25	94,73
Fundo	63,9	58,7	35,6	6,39	5,88	3,56	5,27	100
Total	1000,2	999,7	1000,2	100	100	100	100	100

Em seguida, foi realizado o ensaio da massa unitária segundo a NBR NM 45 (ABNT, 2006). Os equipamentos utilizados foram uma balança com resolução de 50 g, uma haste reta de aço e um recipiente de forma cilíndrica, fabricado como material não atacável pela umidade, rígido e provido de alças (Figura 8c), como exige a NBR NM 45 (ABNT, 2006). Em uma grande bandeja foi feito o quarteamento da amostra (Figura 8a), até se determinar a quantidade necessária para realização do ensaio (Figura 8b).

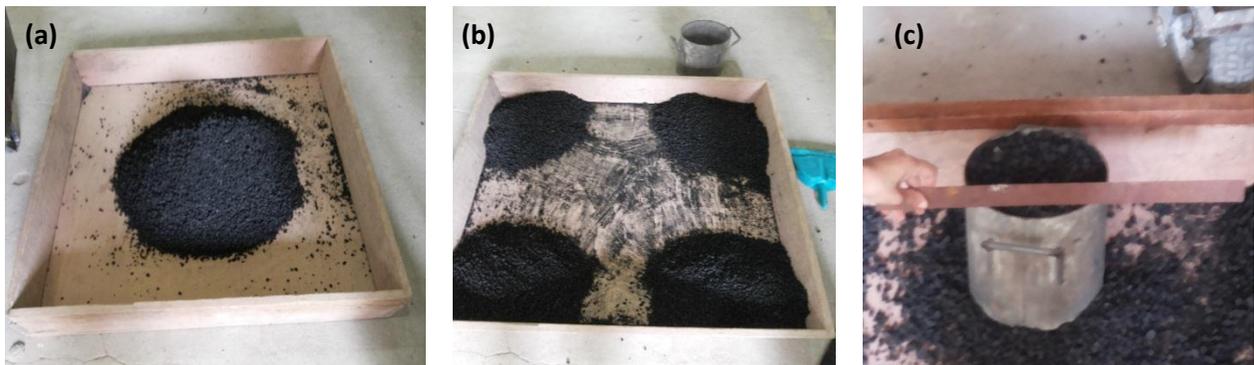


Figura 8. Ensaio da massa unitária do EVA

O procedimento foi repetido para três amostras, e após obter a massa do recipiente, a massa da amostra e o volume do recipiente, foi determinada a média entre as amostras e calculada a massa unitária que foi igual a 150 kg/m^3 , como mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Massa unitária EVA

Determinação	1º Amostra	2º Amostra	3º Amostra
Massa do recipiente (kg)	4,75	4,75	4,75
Massa do rec. + amostra (kg)	5,80	5,80	5,80
Massa da amostra (kg)	1,05	1,05	1,05
Volume do recipiente (dm ³)	7,00	7,00	7,00
Massa unitária (kg/dm ³)	0,15	0,15	0,15
Valor médio (kg/dm ³)	0,15	0,15	0,15
Valor médio (kg/m ³)	150	150	150

O mesmo procedimento foi realizado para a determinação da massa unitária da areia, que também teve como base a NBR NM 45 (ABNT, 2006). O procedimento também foi repetido para três amostras, e após obter a massa do recipiente, a massa da amostra e o volume do recipiente, foi determinada a média entre as amostras e calculada a massa unitária que foi igual a 940 kg/m^3 , como mostra a Tabela 8.

Tabela 6. Massa unitária areia

Determinação	1º Amostra	2º Amostra	3º Amostra
Massa do recipiente (kg)	4,75	4,75	4,75
Massa do rec. + amostra (kg)	16,20	16,00	16,20
Massa da amostra (kg)	11,45	11,25	11,25
Volume do recipiente (dm ³)	7,00	7,00	7,00
Massa unitária (kg/dm ³)	0,95	0,93	0,95
Valor médio (kg/dm ³)	0,94	0,94	0,94
Valor médio (kg/m ³)	940	940	940

Etapa II- Processo de Moldagem

As moldagens dos blocos EVA9_60%, EVA14_60%, EVA12,5_60% e EVA12,5_80% foram feitas em laboratório, todos com dosagem 1:5 (cimento: agregados; em volume). Para a confecção dos blocos EVA9_60%, EVA14_60% e EVA12,5_60% utilizou-se 60% de teor de EVA e 40% de areia, enquanto que para os blocos EVA12,5_80%, a proporção foi de 80% de EVA para 20% de areia (Tabela 7).

Tabela 7. Dosagens e características dos materiais utilizados na moldagem dos blocos EVA

Bloco	Traço	Relação a/c	Teor de EVA (%)	Dmáx EVA (mm)	Massa unitária EVA (kg/m ³)	Dmáx. Areia (mm)	Massa unitária areia (kg/m ³)
EVA9_60%					80		
EVA14_60%	1:5	0,50	60%	9,5	150	1,18	940
EVA12,5_60%					150		
EVA12,5_80%		0,48	80%		80		

Em todos os blocos com 60% de EVA (EVA9_60%, EVA14_60%, EVA12,5_60%) a relação água cimento (a/c) foi igual a 0,50, mas na moldagem dos blocos EVA12,5_80%, a/c foi igual a 0,48. O cimento usado na moldagem de todos os blocos foi o CP II E 32, exceto para os blocos EVA14_60%, que teve que utilizar o CP II F 32, uma vez que na ocasião somente este tipo estava disponível no mercado local. A água potável usada para a moldagem foi proveniente do sistema de abastecimento da UFPB.

Todas as misturas dos materiais foram feitas em uma betoneira de 320 litros (Figura 9a). Inicialmente foi realizada uma pré-molhagem da betoneira, para depois inserir o agregado graúdo (EVA) e 1/3 de toda água utilizada no processo. Após isso, acrescentou-se o cimento (o qual foi misturado ao agregado de EVA por 2 minutos), por fim, adicionou-se a areia e o restante da água. Depois de verificar a consistência da mistura, com o teste simplificado, “teste da mão“ (Figura 9a), o material foi colocado no molde correspondente ao tipo de bloco EVA instalado na vibroprensa semi automática (Figura 9b).



Figura 9. Moldagem dos blocos EVA (a) teste simplificado de consistência do material; (b) máquina vibro-prensa durante a moldagem dos blocos EVA.

Nas moldagens foram contemplados todos os blocos e suas diversas geometrias, convencionais (39 cm x 19 cm x 9 cm; 39 cm x 19 cm x 14 cm) e inovadoras (25 cm x 25 cm x 12,5 cm;). Foram moldados 55 blocos EVA9_60%, 55 blocos EVA14_60%, 58 blocos EVA12,5_60% e 58 blocos EVA12,5_80%, sendo estas quantidades suficientes para a construção de cada mini paredes (1,2 m x 1,0 m) e para a realização de ensaios de resistência a absorção e compressão com 07 e 28 dias (Figura 10a, 10b, 10c, 10d).

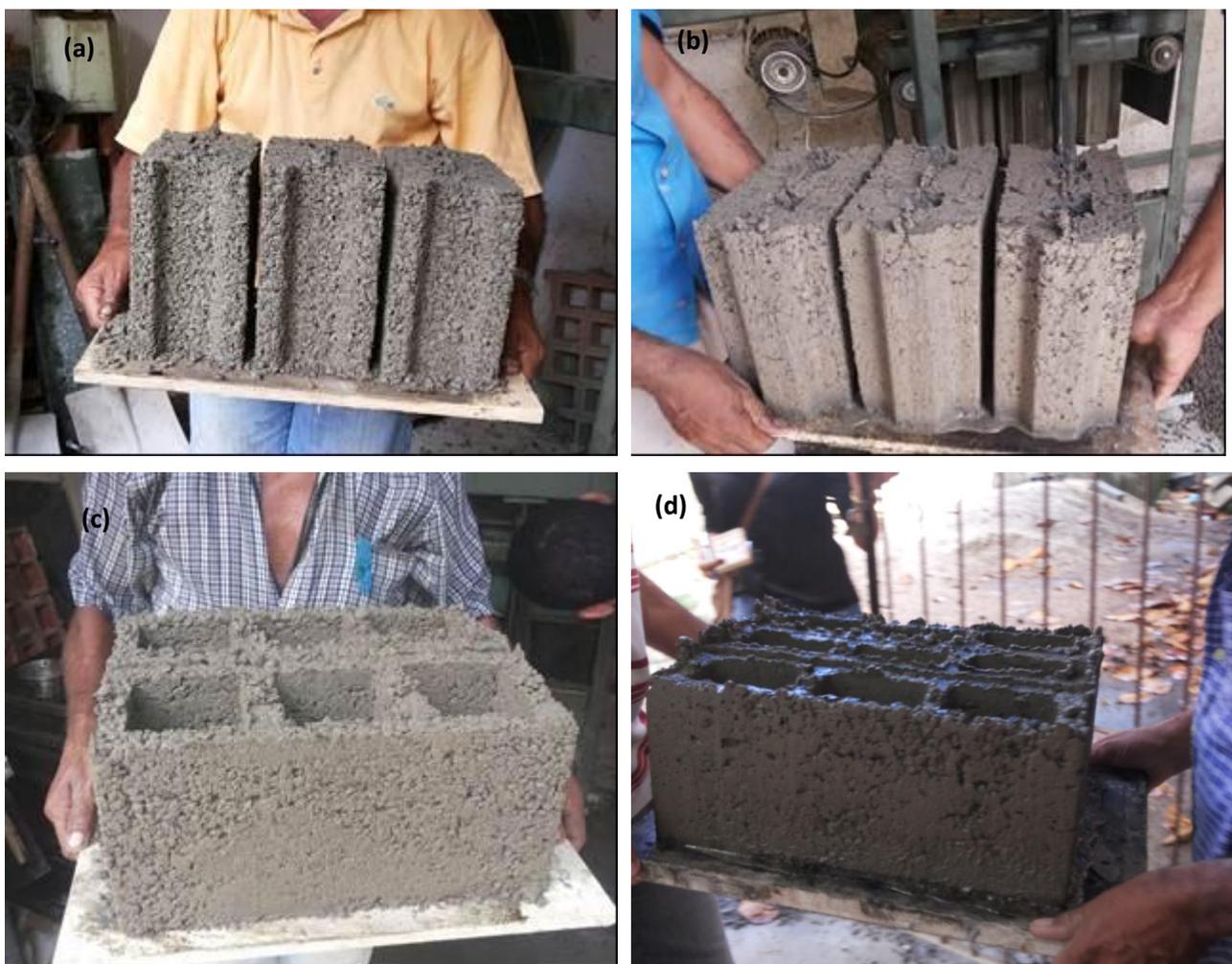


Figura 10. Blocos EVA: (a) Blocos EVA12,5_80%; (b) blocos EVA12,5_60%; (c) blocos EVA14_60%; (d) blocos EVA9_60%;

Após a moldagem os blocos sempre foram levados para cura em câmara úmida ($UR > 95\%$ e $T = 25^{\circ}\text{C}$), por no mínimo 12 horas (Figura 11a), sendo em seguida colocados submersos em tanques de cura com água saturada com cal, até completarem 28 dias de idade (Figura 11b).

Os blocos de concreto e tijolos cerâmico de oito furos (TC) foram adquiridos no mercado local.

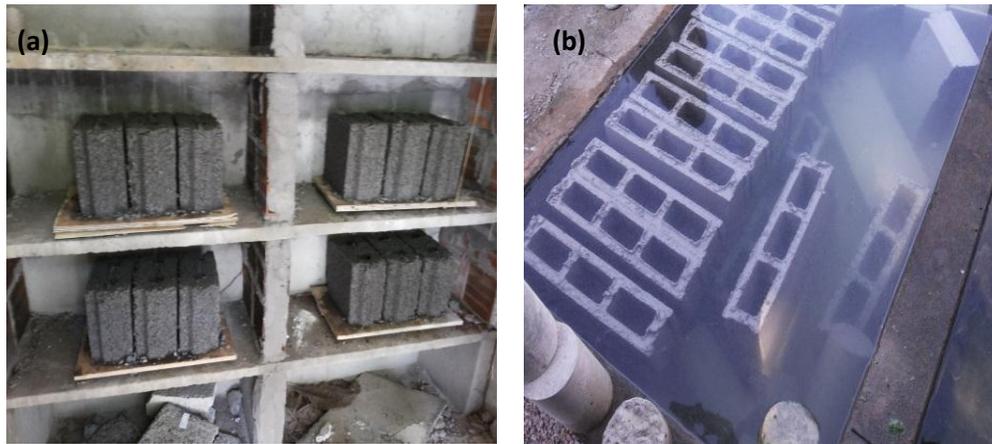


Figura 11. (a) Câmara úmida; (b) tanque de cura.

Etapa III- Resistência absorção e a compressão dos blocos

Os ensaios de resistência à compressão e absorção de água com os blocos EVA foram feitos com 07 (sete) e 28 (vinte e oito) dias. Para os blocos de Concreto e para os Tijolos cerâmicos (TC) os ensaios só foram realizados para idade superior a 28 dias. O procedimento foi realizado segundo a NBR 12118 (ABNT, 2010).

No procedimento para realizar o ensaio de absorção de água, inicialmente as amostras foram colocadas em estufa a 105°C (± 5) durante 24 horas, tempo suficiente para manter a constância de massa dos blocos (Figura 12a). Em seguida, todas as amostras foram numeradas (Figura 12b), para depois serem pesadas (massa seca). Após a primeira pesagem, os blocos foram imersos em água, para depois realizar uma segunda pesagem, onde o valor da massa úmida foi encontrado.

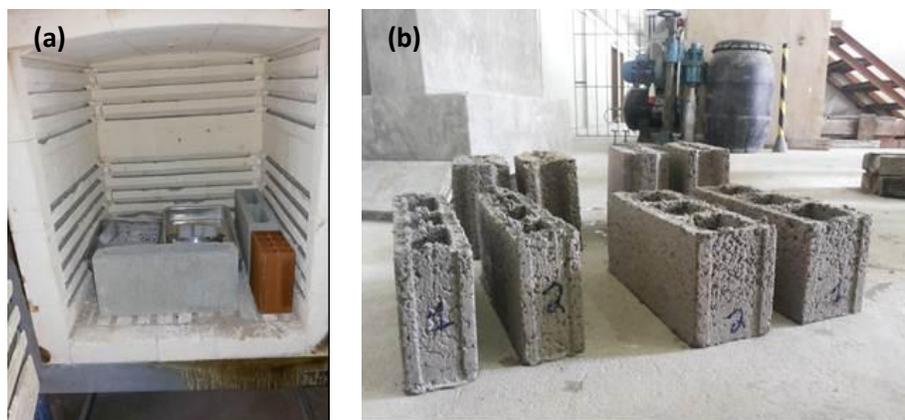


Figura 12. Ensaio de resistência a absorção: (a) Forno com bloco de TC e Concreto; (b) Amostras de EVA.

Os dados encontrados para cada bloco EVA com 07 (sete) e 28 (vinte e oito) dias, assim como os valores obtidos para os blocos TC e Concreto com 28 dias estão na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados de absorção de água com 07 e 28 dias para todos os blocos EVA, Concreto e tijolos cerâmicos

Amostra	7 dias				28 dias			
	Massa seca (Kg)	Massa úmida (Kg)	absorção (%)	Média (%)	Massa seca (Kg)	Massa úmida (Kg)	absorção (%)	Média (%)
EVA9_60% 1	4,95	5,55	12,1	11,6	5,00	5,65	13,0	12,4
EVA9_60% 2	4,55	5,05	11,0		5,05	5,65	11,9	
EVA14_60% 1	6,50	7,40	13,8	13,9	7,20	8,00	11,1	11,5
EVA14_60% 2	6,85	7,80	13,9		7,20	8,05	11,8	
EVA12,5_60% 1	10,10	11,30	11,9	11,8	9,65	10,80	11,9	12,3
EVA12,5_60% 2	9,45	10,55	11,6		9,85	11,10	12,7	
EVA12,5_80% 1	6,25	7,20	15,2	15,7	6,20	7,40	19,4	20,5
EVA12,5_80% 2	5,85	6,80	16,2		5,30	6,45	21,7	
TC	-	-	-	-	1,90	2,15	13,2	9,2
TC	-	-	-	-	1,90	2,00	5,3	
Concreto	-	-	-	-	8,90	9,40	5,6	5,4
Concreto	-	-	-	-	8,80	9,25	5,1	

Para o ensaio de resistência à compressão foram selecionadas doze amostras de cada tipo de bloco EVA (EVA9_60%; EVA14_60%; EVA12,5_60%; EVA12,5_80%), sendo seis amostras para determinar o resultado para 07 dias e os outros seis blocos para 28 dias (APÊNDICE-A). Conforme procedimento previsto, foi realizado o capeamento de todos os blocos, tanto os moldados em laboratório (blocos EVA), quanto para os adquiridos no mercado local (TC e Concreto). Após o capeamento eles foram rompidos como mostra a Figura 13. Todos os procedimentos realizados tiveram como base a NBR 12118 (ABNT, 2010).

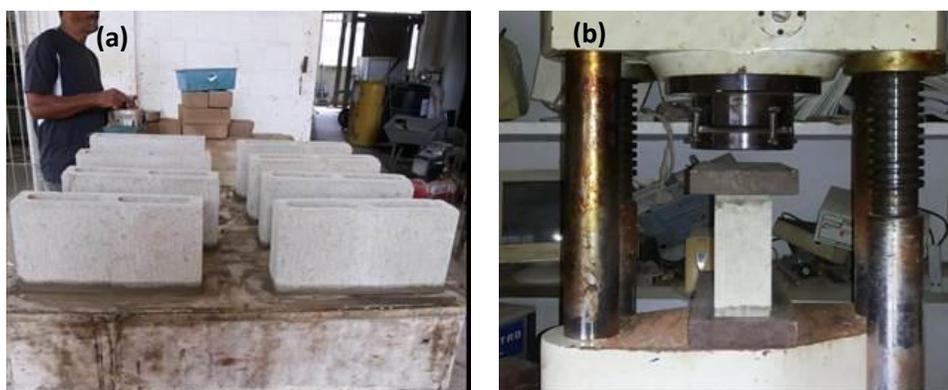


Figura 13. Resistência a compressão: (a) Blocos de concreto em processo de capeamento; (b) Bloco EVA9_60% pronto para ser submetido a ensaio de resistência à compressão.

Na tabela 11 encontra-se a média dos resultados de resistência à compressão obtida para cada bloco EVA (EVA9_60%; EVA14_60%; EVA12,5_60% e EVA12,5_80%), além dos blocos TC e Concreto.

Tabela 9. Valores médios de resistência à compressão aos 28 dias

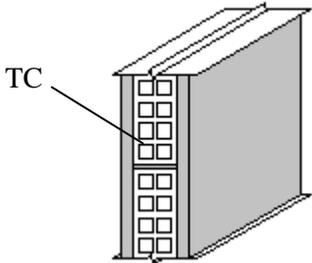
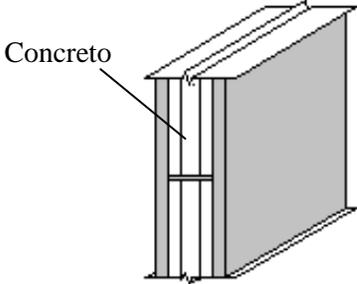
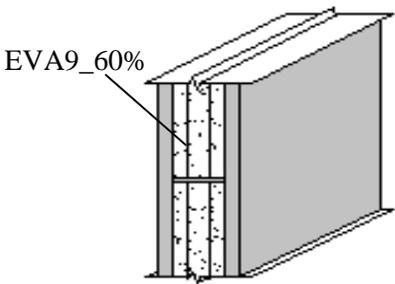
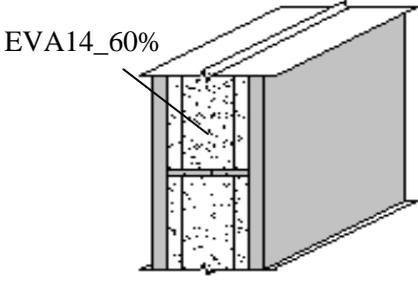
Amostras	Relação a/c	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)
EVA9_60%	0,50	1,2
EVA14_60%	0,50	1,3
EVA12,5_60%	0,50	2,1
EVA12,5_80%	0,48	0,9
TC	-	3,3
Concreto	-	6,6

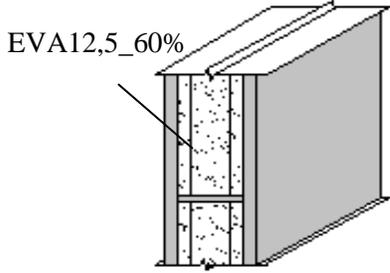
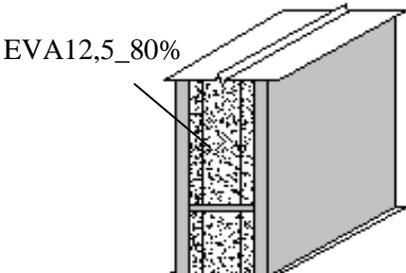
3.1.2 Amostras de mini paredes simples e duplas

Após as moldagens dos blocos foram construídas seis amostras de mini paredes simples, cada uma com 1,0 m x 1,2 m e três amostras de paredes duplas também com 1,0 m x 1,2 m. Na execução das mini paredes, os blocos foram assentados com argamassa no traço 1:2:10 (cimento: cal: areia), e após três dias de espera, as amostras foram chapiscadas, utilizando o traço 1:3 (cimento: areia). As mini paredes receberam o reboco, 21 dias depois que foram chapiscadas, esse reboco foi feito em massa única, com traço 1:2:10 (cimento: cal: areia), tendo 1 cm de espessura de cada lado nas mini paredes simples. No caso das mini paredes duplas, o chapisco e o reboco não foram aplicados na superfície interna em contato com a câmara de ar não ventilada entre as duas mini paredes simples que compõe a parede dupla. Então, nesse caso (paredes duplas), o chapisco e o reboco foram realizados somente nas superfícies externas de cada mini parede que compõe a parede dupla.

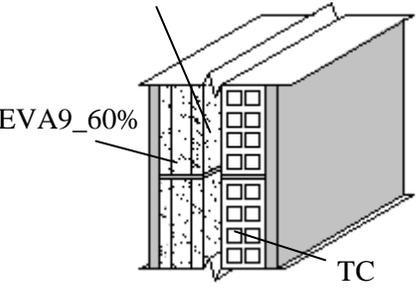
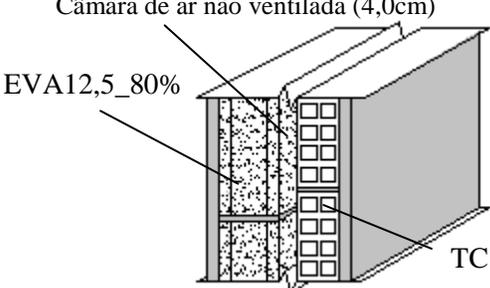
Para a avaliação desenvolvida foram construídas seis amostras de mini paredes simples (Quadro 3) e três amostras de paredes duplas (Quadro 4), totalizando nove amostras com superfícies revestidas em argamassa mista (cimento, cal e areia) e pintadas em cor branca. Todas as paredes foram executadas no LABEME, sendo avaliadas primeiramente as paredes simples e depois as duplas.

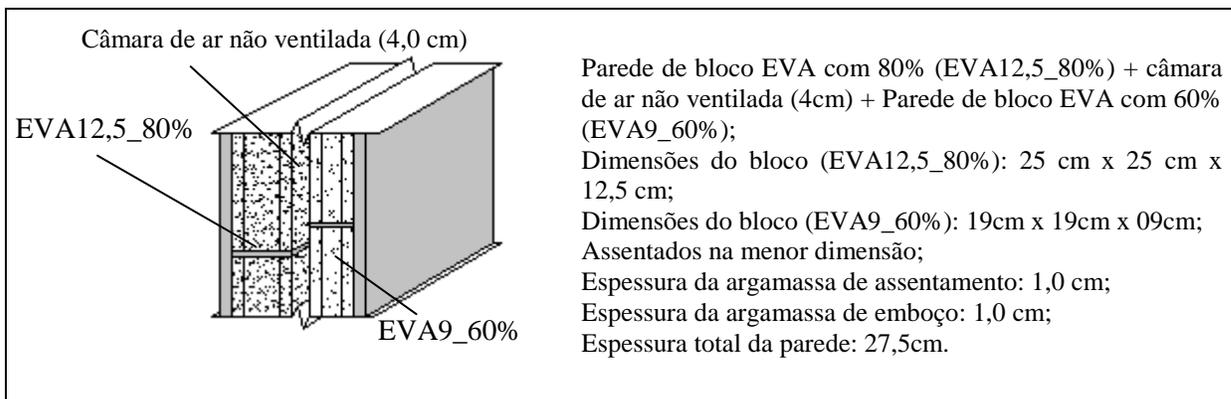
Quadro 3. Descrição das amostras de mini paredes simples

Paredes simples	Descrição
	<p>Parede de tijolos de 8 furos (TC); Dimensões do tijolo: 19 cm x 19 cm x 09 cm; Assentados na menor dimensão; Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura da argamassa de emboço: 1,0 cm; Espessura total da parede: 11 cm.</p>
	<p>Parede de bloco de concreto (Concreto); Dimensões do bloco: 19 cm x 19 cm x 09 cm; Assentados na menor dimensão; Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura da argamassa de emboço: 1,0 cm; Espessura total da parede: 11 cm.</p>
	<p>Parede de bloco com 60% de EVA (EVA9_60%); Dimensões do bloco: 19 cm x 19 cm x 09 cm; Assentados na menor dimensão; Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura da argamassa de emboço: 1,0 cm; Espessura total da parede: 11 cm.</p>
	<p>Parede de bloco EVA com 60% (EVA14_60%) Dimensões do bloco: 39 cm x 19 cm x 14 cm; Assentados na menor dimensão; Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura da argamassa de emboço: 1,0 cm; Espessura total da parede: 11 cm.</p>

	<p>Parede de bloco EVA com 60% 12,5 (EVA12,5_60%); Dimensões do bloco: 25 cm x 25 cm x 12,5 cm; Assentados na menor dimensão; Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura da argamassa de emboço: 1,0 cm; Espessura total da parede: 14,5 cm.</p>
	<p>Parede de bloco EVA com 80% (EVA12,5_80%); Assentados na menor dimensão; Dimensões do bloco: 25 cm x 25 cm x 12,5 cm; Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura da argamassa de emboço: 1,0 cm; Espessura total da parede: 14,5 cm.</p>

Quadro 4- Descrição das amostras de mini paredes duplas

Paredes duplas	Descrição
<p>Câmara de ar não ventilada (4,0 cm)</p> 	<p>Parede de bloco EVA com 60% (EVA9_60%) + câmara de ar não ventilada (4 cm) + Parede de tijolos de 8 furos (TC); Dimensões do bloco EVA9_60%: 19 cm x 19 cm x 09 cm; Dimensões do TC: 19 cm x 19 cm x 09 cm; Assentados na menor dimensão; Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura da argamassa de emboço: 1,0 cm; Espessura total da parede: 24,0 cm.</p>
<p>Câmara de ar não ventilada (4,0cm)</p> 	<p>Parede de bloco EVA com 80% (EVA12,5_80%) + câmara de ar não ventilada (4cm) + Parede de tijolos de 8 furos (TC); Dimensões do bloco EVA12,5_80%: 25 cm x 25 cm x 12,5cm; Dimensões do TC: 19 cm x 19 cm x 09 cm; Assentados na menor dimensão; Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura da argamassa de emboço: 1,0 cm; Espessura total da parede: 27,5 cm.</p>



3.2 MEDIÇÕES EM CÂMARA TÉRMICA NO LABORATÓRIO

As medições das seis amostras de mini paredes simples e das três mini paredes duplas foram realizadas em uma câmara térmica do Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (LABEME-CT-UFPB). As amostras de mini paredes foram instrumentadas nesta câmara térmica, que inicialmente passou por uma calibração, conforme será descrito mais adiante. Para cada sistema de parede foi feito um ensaio para avaliar o desempenho térmico da amostra.

3.2.1 câmara térmica

A câmara térmica do LABEME como mostra na Figura 14, dispõe de alguns controles para garantir isolamento entre as duas faces (uma delas exposta diretamente à fonte de calor) das mini paredes avaliadas. Para isso, a câmara é dividida em dois espaços, um aquecido e outro refrigerado, além de possuir uma divisória de isolamento (composta por *dry-wall* com manta de fibra de vidro no interior), o que faz com que a câmara possua dois ambientes. É nessa divisória que há um espaço onde é inserida a amostra a ser avaliada. A câmara térmica está protegida da luz direta do sol, pois a região em que ela está inserida é sombreada por muitas árvores.

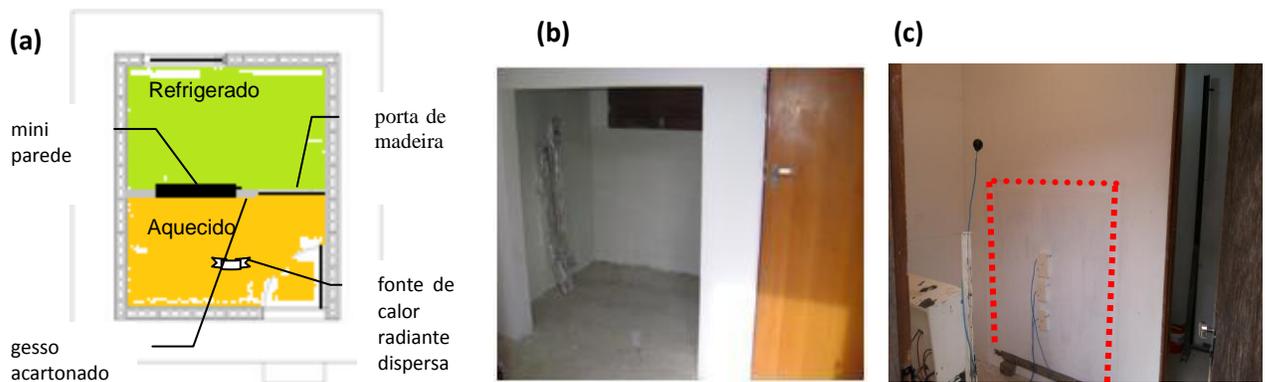


Figura 14. Câmara térmica: (a) Esquema em planta baixa com corpo de prova no interior da câmara térmica (mini parede 1,2 m x 1,0 m) posicionado na divisória (b) Divisória em gesso acartonado com espaço para amostra. (c) Complemento da vedação em isopor entre a amostra já pintada na cor branca e a divisória, incluindo os termopares já posicionados.

Todas as paredes da câmara térmica no ambiente aquecido são revestidas com placas de *isopor*, com 2 cm de espessura (Figura 14c), para evitar a perda de calor para o ambiente externo da câmara no período noturno, uma vez que a temperatura externa no local é sempre mais baixa que a do ambiente aquecido no interior da câmara. A porta interna em madeira entre os ambientes aquecido e refrigerado tem sua face voltada para o lado aquecido, também revestida com isopor, para diminuir a passagem do fluxo de calor através dela. A porta externa de acesso à câmara térmica também tem sua face interna revestida com isopor.

Durante os ensaios foi utilizado como fonte de calor um dispositivo projetado especificamente para esse fim, composto de uma caixa metálica, contendo 12 lâmpadas incandescentes (150 W), que totalizam 1.800W de potência, que foi posicionado sempre a uma distância de um metro (1,0 m) da amostra (Figura 15).



Figura 15. Paredes internas da câmara revestidas com isopor e dispositivo usado como fonte de calor dispersa

3.2.2 Calibração dos termopares

Antes de dar início às medições das amostras, foi realizada a calibração dos termopares a serem utilizados no experimento e também a calibração da própria câmara térmica. Neste estudo foram utilizados oito termopares do tipo T na instrumentação das amostras, compostos por fio cobre (+) e constantan (-), com bainha e isolante de plástico (ANEXO B).

3.2.3 Calibração da câmara térmica

A calibração da câmara teve como objetivo verificar sua estabilidade térmica no intervalo em que ocorrem os experimentos. Então, primeiramente foram coletados os dados de temperatura do ar nos dois ambientes da câmara, contíguos e isolados, com os equipamentos de refrigeração e aquecimento, respectivamente ligados, objetivando verificar as variações da temperatura ao longo do tempo.

A instrumentação para medir a temperatura do ar foi feita com a instalação de um termopar a 1,5 m do piso, em posição correspondente ao centro geométrico de cada ambiente contíguo. Os termopares foram conectados a um sistema de aquisição de dados (MX840A da HBM). As temperaturas foram coletadas a cada 1 segundo, no período de 24 horas, e depois foi realizada a média a cada hora.

Como a temperatura do ambiente não é a mesma da temperatura do ar foi utilizado um termômetro de globo negro, como meio prático de se quantificar os componentes da energia radiante no ambiente. Tal termômetro de globo negro foi fabricado de forma artesanal com o uso de uma bola de pingue-pongue, pintada na cor preta (Figura 16). Já testados por Morais *et al* (2006) os termômetros de globo negro confeccionados com bola de pingue-pongue têm baixo custo e podem ser utilizados em substituição ao globo negro padrão, considerando que resultam em resultados confiáveis.



Figura 16. Termômetro de globo negro: (a) bolas de pingue-pongue pintadas de preto; (b) furo para introduzir o termopar no globo negro; (c) câmara térmica com termômetro de globo e termopar posicionados no interior da câmara térmica.

Na sequência, o procedimento de calibração da câmara térmica foi realizado com a repetição das medições da seguinte forma:

- 1ª medição (24 horas), na condição do ambiente refrigerado com o ar-condicionado ligado e o outro ambiente contíguo com a fonte de calor desligada;
- 2ª medição (24 horas), na condição do ambiente aquecido com a fonte de calor ligada e o outro ambiente contíguo com o ar-condicionado desligado;
- 3ª medição (24 horas), na condição do ambiente refrigerado com o ar-condicionado ligado e o outro ambiente contíguo com a fonte de calor ligada.

Entre cada medição foi esperado um intervalo de no mínimo 24 horas para estabilizar as temperaturas no interior dos dois ambientes dentro da câmara térmica. Finalmente, foram comprados os perfis de temperatura para cada condição descrita e para os intervalos de medição.

A primeira parte da calibração da câmara térmica– com a mini parede executada com tijolo cerâmico (TC) instalada na divisória entre os dois ambientes (a refrigerar e a aquecer). Nas 11 horas iniciais houve uma grande oscilação em suas temperaturas (Figura 17).

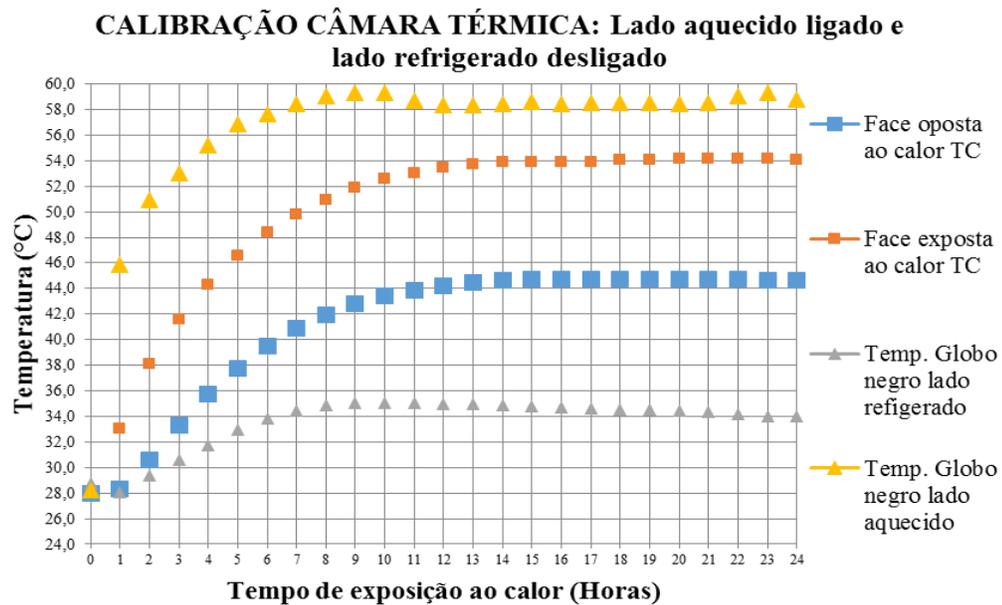


Figura 17. Calibração da câmara térmica: lado aquecido ligado e lado refrigerado desligado

Mesmo os dois lados da câmara térmica tendo como ponto de partida a temperatura de 28°C, em apenas 3 horas os termômetros de globo negro chegaram a registrar 53°C no lado aquecido e 30,6°C no lado da câmara oposto ao calor. Por outro lado, as temperaturas superficiais na mini parede (TC) no mesmo período atingiram 41,6°C na face exposta ao calor e 33,6°C na face oposta ao calor.

Observou-se que ao final das 11 horas o termômetro de globo negro registrou a temperatura máxima de 58,7°C no lado aquecido e 35°C no lado oposto ao calor. As temperaturas superficiais em TC atingiram o máximo de 53°C e 43,9°C na face exposta e oposta ao calor, respectivamente. A partir de então as oscilações de temperaturas foram muito pequenas, o que indica que a câmara térmica permite a regulação de temperaturas, estabelecendo diferenças importantes entre os dois ambientes isolados pelo conjunto divisória (gesso acartonado), amostra (TC) e porta em madeira. Nesse caso, a diferença entre T ambientes, com base nas medições de T de globo negro, foi igual a 23,7°C; para as T superficiais em TC a diferença foi igual a 9,1°C.

Após 24 horas com todos os equipamentos da câmara térmica desligados (fonte de calor e ar-condicionado), iniciou-se a segunda etapa da calibração. Nas horas iniciais houve uma oscilação em suas temperaturas como pode ser verificado na Figura 18.

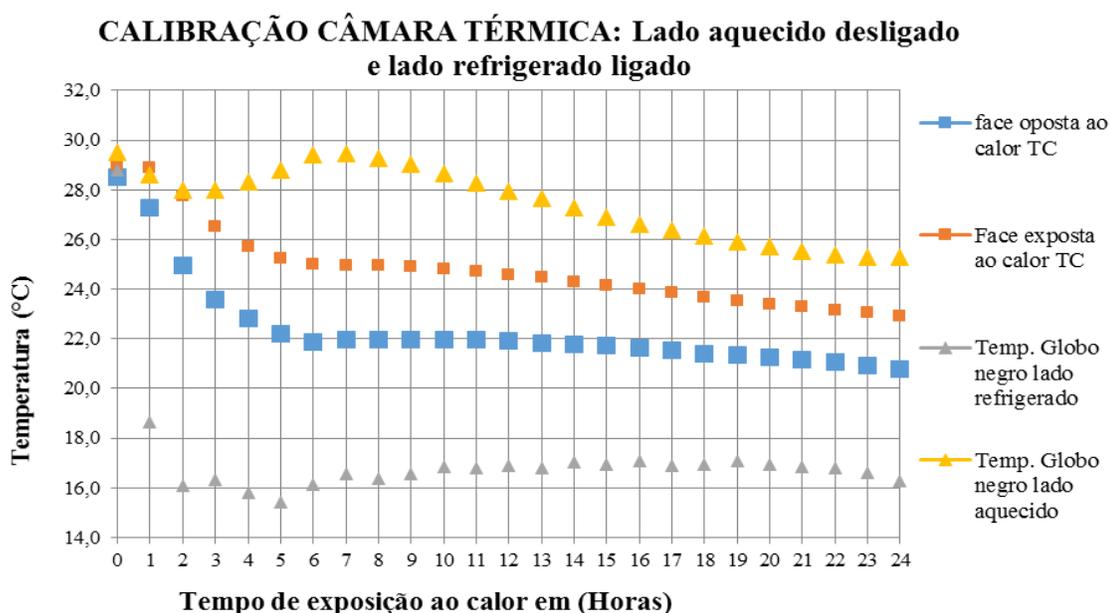


Figura 18. Calibração da câmara térmica: lado aquecido desligado e lado refrigerado ligado

Os dois ambientes da câmara térmica registraram temperaturas em torno de 29°C como ponto de partida no início do ensaio. Em apenas 3 horas o termômetro de globo negro chegou a registrar 16,3°C no lado refrigerado, mas no ambiente da câmara oposto ao frio não houve muita variação de temperatura, reduzindo apenas para 28°C. Observou-se ainda que após 11 horas o termômetro de globo negro registrou a temperatura mínima de 16,8°C do lado refrigerado e 28,3°C do lado oposto ao frio. Ou seja, não ocorreu variação nas temperaturas de globo negro entre 3 e 11 horas, o que indica que o conjunto de divisória (gesso acartonado), amostra (TC) e porta em madeira isola bem quanto à passagem de frio entre um ambiente e o outro no interior da câmara. É interessante observar que as diferenças entre as temperaturas dos dois ambientes no interior da câmara térmica, desde o início do ensaio até a 11ª hora, medidas pelo globo negro, foram iguais a 12,2°C e 0,7°C, considerando os ambientes exposto e oposto ao frio, respectivamente.

Após as mesmas 11 horas as temperaturas superficiais em TC atingiram temperaturas de 22°C e 24,7°C nas faces exposta e oposta ao frio, respectivamente, caracterizando uma diferença de temperatura entre as faces de apenas 2,7°C. Nesse caso, foi pequena a queda da temperatura e praticamente a mesma variação (de 1,6°C até 1,8°C) entre os dois lados no interior da câmara térmica, considerando o intervalo entre a 3ª e a 11ª hora de ensaio. Contudo, a variação das

temperaturas superficiais em TC, desde o início do ensaio até a 11ª hora, foi igual a 7°C e 4,3°C nas faces exposta e oposta ao frio, respectivamente.

A figura 18 também nos mostra que no início as temperaturas no termômetro de globo negro, no ambiente oposto ao frio, permaneceram sempre próxima aos 29°C e só após as 11 horas iniciais é que houve uma queda em suas temperaturas, até atingir 25,3°C na 24ª hora de ensaio. No ambiente refrigerado as temperaturas de globo negro continuaram com pouca variação (em torno de 17°C). Quanto as temperaturas superficiais em TC, em sua face refrigerada, ocorreram pequenas oscilações de temperatura entre 22°C e 20,8°C até o final das 24 horas de ensaio, mostrando a estabilidade no controle da temperatura da câmara.

Antes de iniciar a fase final da calibração, passaram-se 24 horas com o ar-condicionado e a fonte de calor desligada. Essa etapa foi realizada com os dois lados da câmara com os equipamentos ligados, fonte de calor e ar-condicionado. Os dois lados da câmara térmica registraram a temperatura de 28°C como ponto de partida do ensaio e nas 11 horas iniciais ocorreram oscilações nas temperaturas (Figura 19).

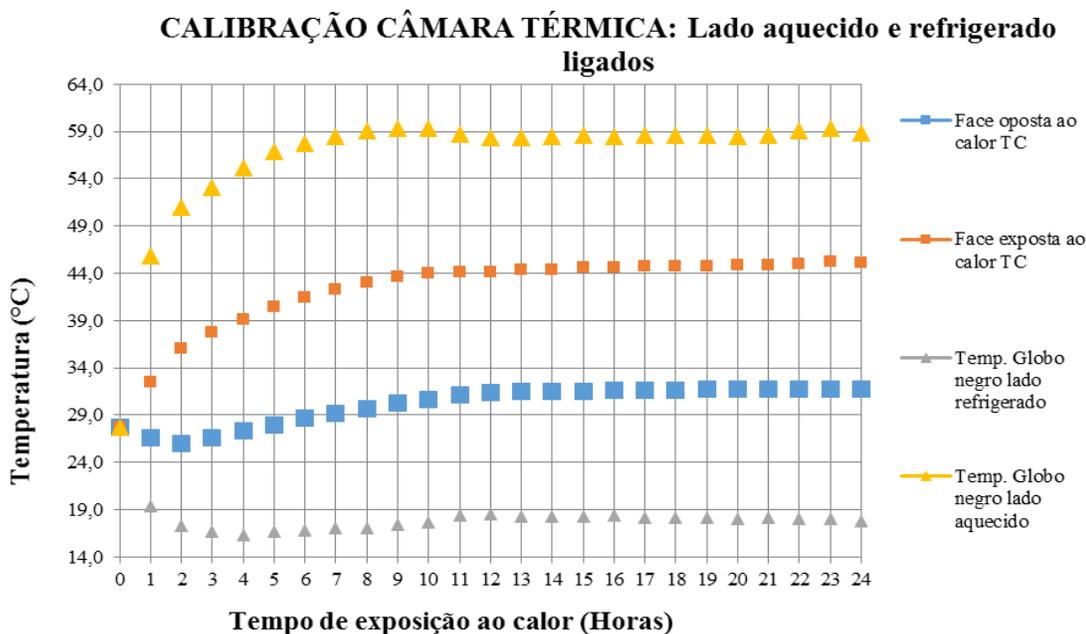


Figura 19. Calibração da câmara térmica: lado aquecido e refrigerado ligados.

Observou-se que ao final das 11 horas o termômetro de globo negro de temperatura registrou a temperatura de 18°C do lado refrigerado e 58°C do lado aquecido, enquanto que na

amostra TC as temperaturas superficiais permaneceram com 32°C e 44°C na face oposta e exposta ao calor, respectivamente. Nesse última fase da calibração considerando-se os registros de temperaturas após as 11 primeiras horas confirma-se a estabilidade térmica da câmara.

Na Tabela 10 pode-se observar as temperaturas globais (médias das temperaturas, desprezando as 11 horas iniciais) dos termômetros de globo negro, das três etapas da calibração da câmara, em seu lado aquecido e refrigerado.

Tabela 10. Temperatura global das temperaturas no termômetro de globo negro da câmara térmica

Etapas de calibração	Condições em cada ambiente no interior da câmara térmica	Lado aquecido (°C)	Lado refrigerado (°C)	Diferença de temperatura entre o lado aquecido e refrigerado (°C)
1ª etapa	Lado aquecido ligado e refrigerado desligado	58,6	34,4	24,2
2ª etapa	Lado aquecido desligado e refrigerado ligado	26,3	16,8	9,5
3ª etapa	Lado aquecido e refrigerado ligados	58,6	18,2	40,4

A tabela mostra que a temperatura global dos ambientes do lado exposto à fonte de calor (lado aquecido), nas 1ª e 3ª etapas, são exatamente as mesmas. De modo semelhante ao comparar apenas as temperaturas globais dos ambientes do lado refrigerado, nas 2ª e 3ª etapas, ver-se que elas estiveram muito próximas, diferindo em apenas 1,4°C. Esse fato também confirma a estabilidade térmica da câmara, que é adequada aos objetivos da pesquisa.

3.2.4 Instrumentação das amostras

Para todas as mini paredes analisadas foi adotada como regra realizar a instrumentação, somente após esperar o tempo suficiente para a cura da argamassa de revestimento. Sempre após as amostras estarem posicionadas e pintadas na cor branca no interior da câmara térmica, dava-se início à colocação de 3 (três) sensores de temperaturas (termopares), diretamente na superfície de cada lado das mini paredes, em posições correspondentes. Para isso, adotou-se como referência o alinhamento dos 3 (três) termopares, posicionados em relação ao eixo vertical central de cada face das mini paredes.

A instrumentação das amostras foi realizada com 6 (seis) termopares (três em cada face) do tipo T (compostos por fio cobre (+) e constantan (-), com bainha e isolante de plástico, distribuídos da seguinte forma: três termopares colocados na face exposta ao calor, alinhados verticalmente e outros três termopares colocados na outra face em posições correspondentes. Em cada lado da câmara foi usado um termopar para o termômetro de globo negro, posicionado no centro a 1,5 metros de distância do piso, (Figura 20).



Figura 20. Instrumentação dos termopares e amostra: (a) face da amostra com parede simples com todos os termopares posicionados no lado refrigerado da câmara térmica; (b) posicionamento dos termopares na face da amostra no lado aquecido.

Para a colocação dos termopares nas superfícies das amostras foram utilizados fixadores de fio e, logo após, eles foram ligados ao sistema de aquisição de dados (MX840A da HBM), o qual foi programado de maneira a registrar os valores das temperaturas a cada segundo. Todos os termopares, depois de instalados em contato com as superfícies das amostras, foram cobertos com pequenas placas de isopor, de modo a garantir o melhor registro das variações de temperatura apenas pelo contato direto do termopar com a superfície da amostra.

Para a instrumentação de todas as mini paredes, simulando os sistemas de paredes duplas e simples avaliados, foram adotados os mesmos procedimentos descritos anteriormente, inclusive com o complemento do espaço entre a amostra e a divisória em gesso acartonado, com uso de

placas de isopor. No caso das amostras com paredes duplas, depois de posicionadas na referida divisória, foram colocadas também placas de isopor para vedar a câmara de ar entre as duas mini paredes, de modo a garantir a situação de câmara de ar não ventilada.

Os valores registrados pelo sistema de aquisição de dados foram sistematizados de modo a obter a média aritmética por hora, cujos resultados são apresentados por meio de gráficos, mostrando a variação das temperaturas em função da duração do ensaio (24 horas). Nesse caso, foram consideradas inicialmente as temperaturas medidas nos três termopares para fazer as médias finais por hora para cada face das mini paredes. Com essas médias foram determinadas as variações médias de temperatura entre as faces exposta e oposta ao calor de cada amostra. A temperatura média global para cada face das amostras ensaiadas foi calculada sem considerar, os dados registrados nas 14 horas iniciais. Isso foi adotado por que, em geral, este foi período em que as temperaturas nos termopares ainda variavam muito, aumentando e diminuindo, segundo as faces das amostras. Dessa forma, foram realizados ensaios com dez sistemas diferentes, sendo seis paredes simples e três paredes duplas, acrescentando-se o ensaio com uma das paredes duplas em posição invertida, considerando as faces voltadas para o lado aquecido e refrigerado.

3.3 CÁLCULO DE DESEMPENHO TÉRMICO

Para complementar a análise do desempenho dos materiais utilizados na fabricação das mini paredes foram realizados cálculos de vários parâmetros importantes que permitem caracterizar o desempenho dos componentes (resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar), conforme previsto na NBR 15220-2 (ABNT, 2005c). Para fazer esses cálculos foi necessário previamente determinar a condutividade térmica e densidade dos materiais, através de ensaios realizados no laboratório.

Os ensaios de condutividade térmica foram realizados baseados na medição da resistência térmica pelo método fluxométrico em regime estacionário, segundo a NBR 15220-5 (ABNT, 2005c). Para o cálculo das densidades dos materiais foi utilizado o procedimento conhecido como método da determinação da densidade aparente utilizando água e parafina, utilizado por Bó *et al.* (2002).

3.3.1 Determinação da densidade

A densidade aparente foi determinada através do método desenvolvido por Bó *et al.* (2002), que utiliza água e parafina, ao invés de mercúrio. Este método é utilizado na obtenção da densidade de concretos leves. O método escolhido consistiu na preparação de corpos de prova em forma de cubos (três amostras de cada compósito: com 60% de EVA e com 80% de EVA) com arestas aproximadamente iguais a 5cm (Figura 21a). Todos foram devidamente pesados e após isso foram mergulhados em parafina fundida por sucessivas vezes (Figura 21b), com o intuito de impermeabilizar as amostras para que em seguida fossem pesados novamente. Desta forma, determinou-se quanto de parafina foi adicionado a cada amostra.

Então, os corpos de prova foram colocados em um sistema (Figura 21c), no qual se lê a massa das amostras sob o efeito do empuxo da água contida no béquer, como o proposto no trabalho de Bezerra (2003).



Figura 21. Densidade aparente: (a) corpos de prova com 60% de EVA; (b) corpos de prova com 60% e 80% de EVA cobertos com parafina; (c) sistema de pesagem das amostras.

A partir daí, a densidade aparente foi determinada através da seguinte equação 3:

$$\rho_{AP} = \frac{m\rho_{H_2O}\rho_{Parafina}}{M'\rho_{Parafina} - m_{Parafina}\rho_{H_2O}} \quad (3)$$

Onde:

ρ_{AP} – Densidade aparente da amostra (kg/m^3);

ρ_{Parafina} – Densidade da parafina (kg/m^3);

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – Densidade da água na temperatura do experimento (kg/m^3);

m – Massa do bloco (kg);

m_{Parafina} – Massa da parafina que impermeabilizou a amostra (kg);

M' – Massa de água deslocada pela amostra (kg).

Esse método foi empregado para a determinação da densidade dos compósitos de concreto com 60% e 80% de EVA, que corresponde à mesma dosagem adotada nas moldagens dos quatro tipos de blocos EVA utilizados neste trabalho. Os valores da densidade aparente para as amostras com 60% e 80% de EVA, resultaram da média dos três corpos de prova (Tabela 11). Para o tijolo cerâmico e para o concreto os valores adotados nos cálculos de desempenho, foram os valores estabelecidos pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005b)

Tabela 11. Densidade aparente dos corpos de prova de EVA com 60% e 80%

Corpo de prova	Amostra 01 kg/m^3	Amostra 02 kg/m^3	Amostra 03 kg/m^3	Média kg/m^3
EVA com 60%	1.375	1.373	1.371	1.373
EVA com 80%	1.128	1.136	1.136	1.136

3.3.2 Determinação da condutividade térmica

Para determinar a condutividade térmica das amostras de EVA com 60% e 80% foi utilizado um Condutivímetro K30. Esse equipamento funciona utilizando amostras planares, tendo como base a medição do fluxo de calor e a diferença de temperatura entre as faces de uma amostra submetida a um gradiente térmico. Esse equipamento foi prescrito na norma técnica NBR 15220-5 “Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluxométrico” (ABNT, 2005c). A Figura 22 mostra um esquema do dispositivo.

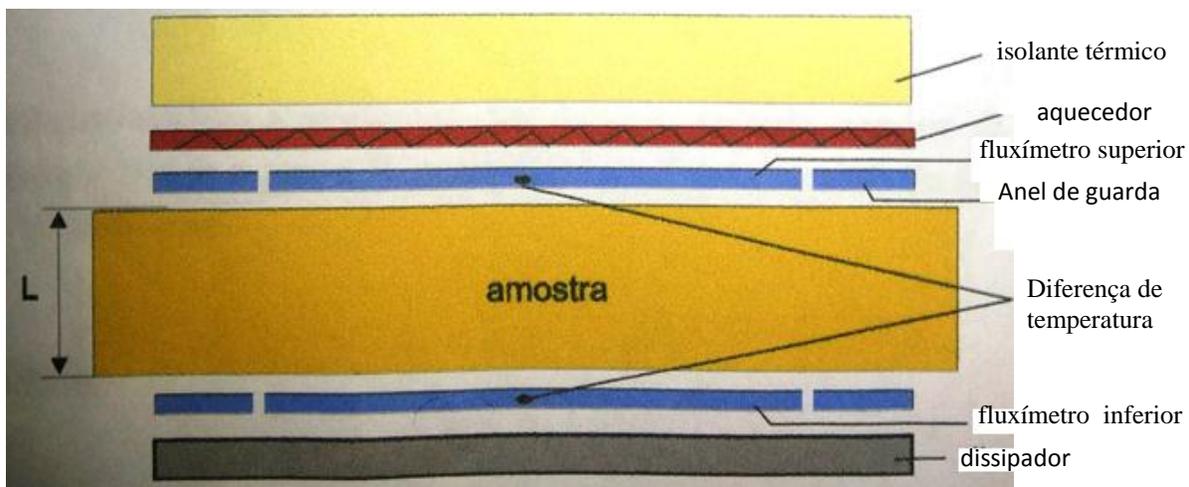


Figura 22. Princípio da medição da condutividade térmica
Fonte: Manual do condutímetro K30 (2011)

A resistência térmica é determinada a partir da lei de Fourier, onde R é a resistência térmica ($m^2 K/W$), q é o fluxo de calor médio medido pelos fluxímetros 1 e 2 (W) e T_1 (?) e T_2 (?) são as temperaturas médias nas superfícies das amostras. Com isso, é possível determinar a condutividade térmica do material (k) na Equação 4:

$$k = \frac{L}{R} \quad (4)$$

Onde λ é a condutividade térmica ($W/m.K$) e L é a espessura da amostra (m).

Para o ensaio foram moldadas duas placas $300\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ (largura x comprimento e espessura) com os compósitos correspondentes às mesmas dosagens utilizadas na fabricação dos blocos EVA (60% de EVA - Figura 23a; e 80% de EVA- Figura 23b). Tais placas foram levadas ao Condutímetro K30, conforme se mostra na Figura 23c.

Os ensaios de condutividade com as placas de concreto com EVA foram realizados em dois laboratórios diferentes, que utilizam o mesmo tipo de equipamento. O primeiro ensaio foi feito no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (LMPT-UFSC). O segundo ensaio realizou-se no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba (LABEME-UFPB).



Figura 23. Placas 30mm x 30mm: (a) Placa com 60% de EVA; (b) placa com 80% de EVA; (c) local onde se coloca a amostra no interior de Condutivímetro K30.

A partir dos resultados individuais obtidos, procurou-se adotar a média dos valores obtidos em laboratórios diferentes, uma vez que se acredita ser dessa forma o resultado final mais confiável a considerar nos cálculos (Tabela 12). A decisão de adotar a média partiu do fato de haver muita variação na densidade dos resíduos de EVA, e vale a pena ressaltar, que apesar de terem sido feitas em lugares diferentes, nos dois casos o equipamento utilizado e o procedimento foi exatamente o mesmo.

Tabela 12. Condutividade térmica nas placas de EVA com 60% e 80%

Placa	LMPT- UFSC (W/m.K)	LABEME- UFPB (W/m.K)	Média (W/m.K)
EVA com 60%	0,77	0,55	0,66
EVA com 80%	0,66	0,51	0,58

3.3.3 Calor específico

Para os valores do calor específico do concreto com EVA com 80% e 60%, adotou-se nos cálculos o valor de 1,00 KJ/(kg.K). Isso se justifica, uma vez que na Tabela B3, apresentada no Anexo “B” da NBR 15220-2 (ABNT, 2005c), todos os materiais que têm a presença de cimento Portland em sua composição tem o mesmo valor de 1,00 KJ/(kg.K) para o seu calor específico. Isso acontece tanto para os concretos convencionais, quanto para os concretos leves cavernosos, com pozolona ou escória expandida, que apresentaram o mesmo valor indicado. Acrescente-se a

isso as dificuldades identificadas na tentativa de realizar os ensaios para determinar o calor específico das amostras de concreto com EVA.

4.1 AMOSTRAS COM MATERIAIS DIFERENTES E MESMAS ESPESSURAS

As amostras de CONCRETO, EVA9_60% e TC são compostas por diferentes materiais e todas possuem a mesma espessura total (11 cm), considerando que elas possuem 1cm de revestimento argamassado aplicado em ambos os lados. Estas mini paredes simples possuem área de 1,20m² (1,0m x 1,20m). Na sequência (Figura 24) se faz uma comparação do ensaio realizado em câmara térmica de laboratório com as três amostras, considerando que elas têm a mesma espessura total e cada uma é executada com materiais diferentes (blocos EVA9_60%; blocos Concreto e Tijolos Cerâmicos).

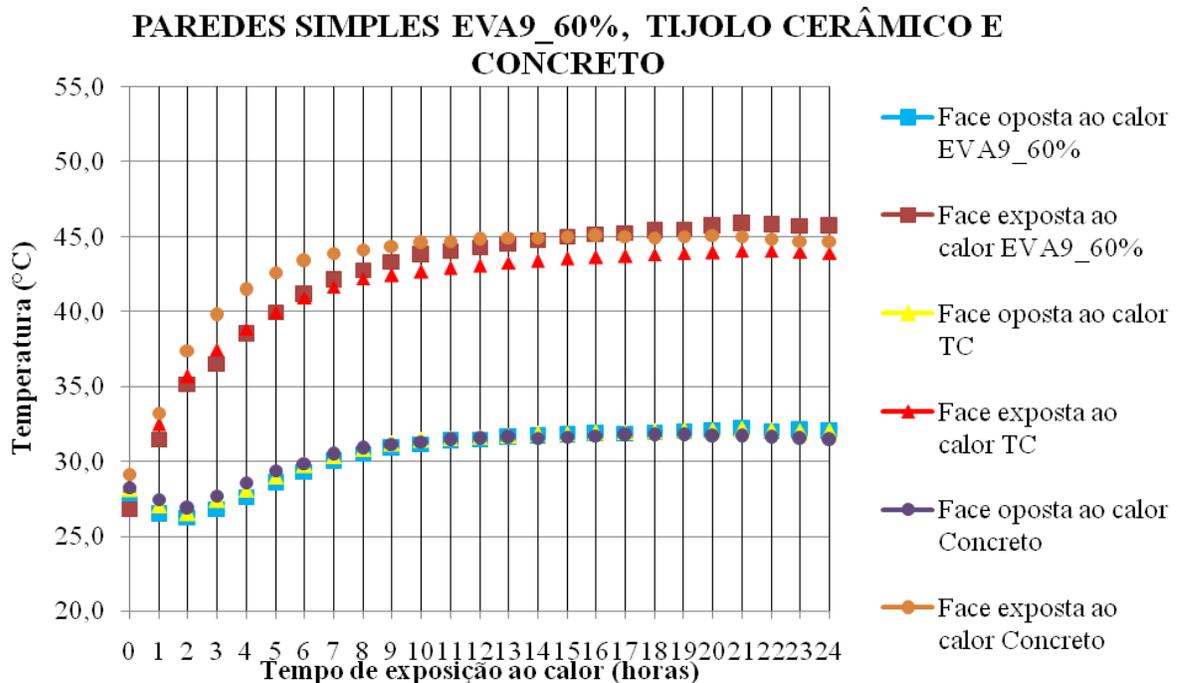


Figura 24. Variação de temperatura média durante o ensaio com a parede simples EVA9_60%, TC e Concreto.

Na comparação entre as três amostras, considerando-se a face exposta ao calor durante as

primeiras horas de ensaio, as amostras de EVA9_60% e TC apresentaram menor incremento de suas temperaturas comparado com a amostra de Concreto, o que indica mais rápida elevação de temperatura inicial para a parede simples de Concreto. Nas superfícies do lado oposto ao calor, as três amostras apresentaram comportamentos semelhantes, tendo a parede simples EVA9_60% resultado em temperaturas ligeiramente mais baixas no início do ensaio e um pouco superiores no final dele. As temperaturas finais mais altas de cada amostra são pouco diferentes, TC (44,0°C), EVA9_60% (45,9°C) e Concreto (45,1°C).

A amostra TC apresentou menores temperaturas na face exposta ao calor após as 14 primeiras horas de ensaio, mantendo-se sempre com temperaturas mais baixas até o final do ensaio. Os valores foram bem próximos à amostra EVA9_60%, o que indica desempenhos térmicos semelhantes.

Como explicitado anteriormente, o comportamento tornou-se padrão, em geral, a partir das primeiras 14 horas de ensaio, ou seja, depois que a transferência de calor saiu do regime transitório para o regime permanente de calor, onde é possível identificar a quantidade do fluxo de calor entre as amostras. Com isso, as temperaturas registradas pelos termopares tenderam a se estabilizar, algumas vezes com poucos incrementos de temperatura na face exposta ao calor.

As paredes simples EVA9_60%, TC e Concreto atingiram variações de temperaturas médias globais, entre o lado aquecido e refrigerado, iguais a ~13,5°C, ~11,8°C e ~13,3°C, respectivamente. Curiosamente, tais diferenças são maiores e com valores muito próximos para EVA9_60% e Concreto (quanto maior o valor entende-se que é maior a resistência térmica da amostra), que têm em comum o fato de serem pré-moldados fabricados com material cimentício. Isto indica que a presença do cimento Portland é mais determinante no desempenho térmico das amostras do que a presença do agregado de EVA na amostra EVA9_60%. Este resultado indica que as amostras EVA9_60% e Concreto tiveram um desempenho térmico um pouco melhor do que TC.

A diferença entre a temperatura média global registrada no ambiente (medições registradas pelo termômetro de globo negro no interior da câmara) e na superfície da amostra foi organizada na Tabela 13. As comparações entre Temperaturas médias Globais nos ambientes mostram que as temperaturas foram praticamente as mesmas para todas as amostras, já nas temperaturas superficiais, como já dito, TC obteve a menor diferença de temperatura. Novamente observa-se a semelhança entre a diferença das temperaturas nas faces das amostras

de Concreto e EVA9_60%.

Tabela 13. Comparativo entre Temperaturas médias Globais nos ambientes e nas faces das paredes simples EVA9_60%, Concreto e TC.

Amostras	Temperatura média global no ambiente			Temperatura média global na face		
	Exposto ao Calor (TGae)	Oposto ao Calor (TGao)	Diferença TGae e TGao	Exposta ao Calor (TGfe)	Oposta ao Calor (TGfo)	Diferença TGfe e TGfo
	°C	°C	°C	°C	°C	°C
EVA9_60%	58,8	18,4	40,4	45,5	32,0	13,5
CONCRETO	58,2	18,4	39,9	44,9	31,6	13,3
TC	57,3	18,3	39,0	43,8	32,0	11,8

TGae = Temperatura média Global no ambiente exposto ao calor

TGao = Temperatura média Global no ambiente oposto ao calor

TGfe = Temperatura média Global na face da parede exposta ao calor

TGfo = Temperatura média Global na face da parede oposta ao calor

Como forma de confrontar os ensaios feitos em laboratório foram realizados cálculos de desempenho térmico segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005a), para cada amostra de parede simples. Nos cálculos foram considerados a argamassa de assentamento e reboco, em ambas as faces nas paredes simples (APÊNDICE- C).

Para a realização dos cálculos foi necessário ter conhecimento dos valores de algumas propriedades termofísicas dos materiais que constituíram as paredes, como a condutividade térmica, o calor específico e a densidade. Na tabela 14 observam-se os valores obtidos para o EVA com proporção de 60% e 80% de resíduo, assim como os dados já consolidados em norma, para o Concreto e material cerâmico.

Tabela 14. Propriedades termofísicas dos materiais das amostras

Material	Densidade- ρ (Kg/ m ³)	Condutividade Térmica- λ (W/(m.K))	Calor Específico- c (KJ/(kg/k))
EVA_60%	1373	0,66	1,00
EVA_80%	1133	0,58	1,00
Cerâmico	1600	0,90	0,92
Concreto	2400	1,75	1,00

Os métodos de cálculo permitiram a obtenção da Resistência Térmica (R), Transmitância Térmica (U), Capacidade térmica (CT), Atraso térmico (ϕ) e Fator solar (FS_o), estes dados foram necessários para avaliar o desempenho térmico de cada amostra. Os dados obtidos nos cálculos de desempenho estão em concordância com os procedimentos realizados em câmara térmica de

laboratório, os dois ensaios apontaram a parede de concreto como a que possui a maior Transmitância Térmica (U) dentre as amostras. A parede EVA9_60%, apresentou valores próximos a amostra TC, onde o atraso térmico para as duas amostras diferiram em apenas 0,1 hora (Tabela 15). O concreto teve uma alta capacidade térmica, que é a propriedade que caracteriza a capacidade de um corpo armazenar calor.

Tabela 15. Valores de Resistência Térmica, Capacidade térmica, Transmitância Térmica, atraso e fator de calor solar de TC, Concreto e EVA9_60%

Amostra	R (m ² .K)/W	CT KJ/ m ² . K	U W/m ² .K	φ Horas	FS _o %
TC	0,2680	88,7	2,3	2,8	2,7
Concreto	0,1418	197,1	3,3	3,2	3,9
EVA9_60%	0,2066	119,4	2,8	2,9	3,3

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005-a) indica os valores U, CT, φ e FS_o para a classificação de uma alvenaria externa como leve, leve refletora ou pesada. Esta norma também indica qual o tipo de vedação externa que deve ser empregado em cada zona bioclimática (Tabela 16).

A NBR 15575-4 (ABNT, 2012) também faz referências a valores de Transmitância Térmica (U) para as vedações externas, e seus valores chegam a diferir em até 0,5 W/m².K da NBR 15220-3 (ABNT,2005-a), o que dificulta a classificação das vedações. Nela não existe a descrição objetiva sobre o que é uma alvenaria Leve e Refletora, são dados somente os valores de U, CT, φ e FS_o (Tabela 16). Através disto, adotou-se que a classificação “Leve Refletora” deve-se a transmitância da alvenaria e a absorvância do material externo, já que o FS_o é o único valor que difere claramente na classificação entre as vedações externas Leves e Leves Refletoras.

Tabela 16. Transmitância Térmica, atraso e fator solar admissíveis para cada tipo de vedação

Vedações externas	Transmitância Térmica- U W/ m ² .K		Capacidade Térmica-CT KJ/ m ² .K	Atraso Térmico- φ Horas	Fator Solar- FS _o %
	NBR 15220-3	NBR 15575-4			
Leve	U ≤ 3,00	U ≤ 2,50		φ ≤ 4,3	FS _o ≤ 5,0
Paredes	Leve	U ≤ 3,60	≥ 130	φ ≤ 4,3	FS _o ≤ 4,0
	Refletora	U ≤ 3,70			
Pesada	U ≤ 2,20	U ≤ 2,50		φ ≤ 6,5	FS _o ≤ 3,5

Fonte: Tabela C.2 NBR 15220-3 (ABNT,2005-a) e NBR 15575-4 (ABNT, 2012)

As paredes TC, Concreto e EVA9_60% podem ser classificadas como paredes leves, estas alvenarias são indicadas para clima o quente e úmido, onde a proposta é que durante a exposição diária ao sol, o calor absorvido pela parede não seja armazenado por um longo período. Na Tabela 17, observa-se uma classificação através da ponderação de cada valor encontrado em comparação com os valores estabelecidos de acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2012) e a NBR 15220-3 (ABNT, 2005-a).

Tabela 17. Classificação das vedações externas através dos valores de Transmitância Térmica, atraso e fator solar

Amostras	TC	CONCRETO	EVA9_60%
U	2,3 W/m ² .K	3,3 W/m ² .K	2,8 W/m ² .K
	Leve	Leve refletora	Leve
Φ	2,8 horas	3,2 horas	2,9 horas
	Leve/Leve refletora	Leve/Leve refletora	Leve/Leve refletora
FS _o	2,7%	3,9%	3,3%
	Pesada	Leve Refletora	Pesada

Observa-se que a classificação das amostras TC, Concreto e EVA9_60%, levando em consideração os valores de U, Φ e FS_o %, não foi constante nas avaliações. As amostras TC e EVA9_60% chegaram a ser classificadas como pesadas, no que se refere ao fator solar (FS_o). Os valores obtidos nos cálculos de desempenho foram para TC e EVA9_60% foram respectivamente 2,7% e 3,3%, e de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT,2005-a) as vedações pesadas tem seus valores de FS_o menor ou igual a 3,5%.

4.2 AMOSTRAS COM MESMAS ESPESSURAS E TEORES DIFERENTES DE EVA

As amostras EVA12,5_80% e EVA12,5_60% são paredes simples constituídas por blocos de EVA com 12,5cm de espessura, elas possuem respectivamente, 80% e 60% de resíduos EVA em sua composição. Possuem espessura total igual a 14,5 cm, considerando que elas são revestidas em ambos os lados com reboco argamassado com 1 cm de espessura.

Na Figura 25 se faz a comparação entre o desempenho das amostras EVA12,5_60% e

EVA12,5_80%. Considerando as medidas realizadas no lado aquecido e no lado refrigerado da câmara térmica, a temperatura inicial registrada durante o ensaio das duas amostras foi próxima a 28°C. Percebe-se que durante as cinco primeiras horas, na face exposta ao calor das duas amostras (EVA12,5_80% e EVA12,5_60%), as temperaturas vão aumentando igualmente, até alcançarem a temperatura aproximadamente igual 40°C. Após isso e até o final do ensaio, a amostra EVA12,5_80% atinge temperaturas mais altas, mantendo-se sempre cerca de 2°C acima das temperaturas da amostra EVA12,5_60%.

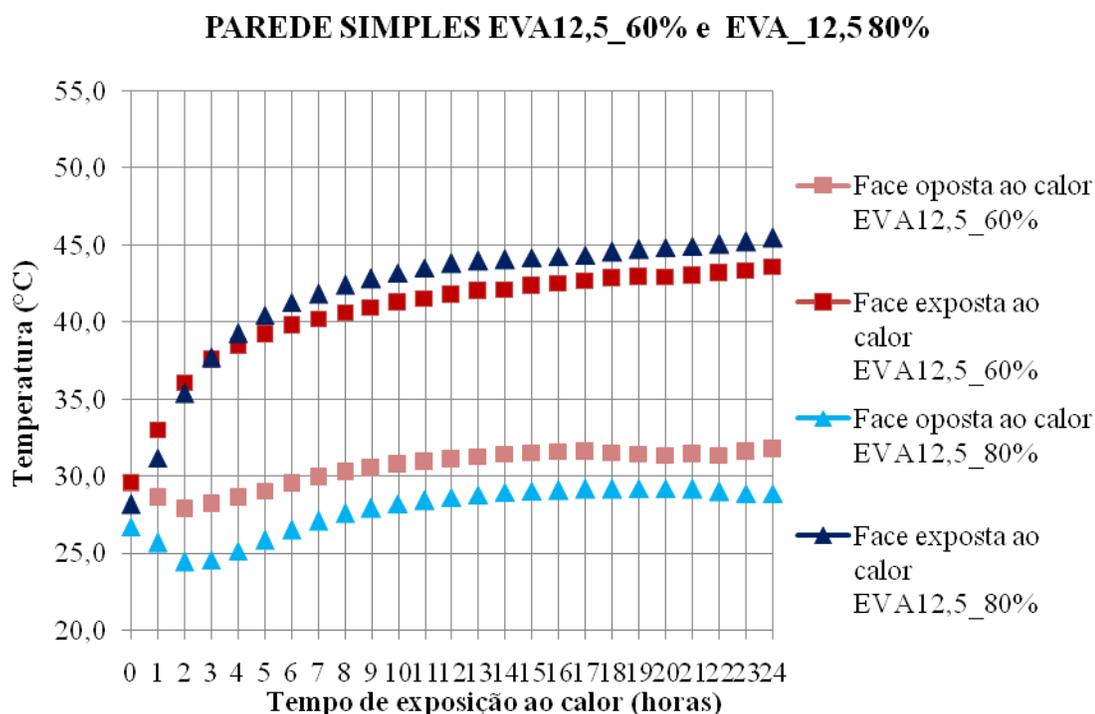


Figura 25. Variação de temperatura média durante o ensaio com paredes simples que têm a mesma espessura e diferentes teores de EVA nos blocos (60% x 80%).

Somente após as quatorze primeiras horas as médias das temperaturas na face oposta ao calor tendem a se estabilizar, sendo que em um patamar imediatamente superior a 30°C. Ao completar 24 horas de ensaio, a amostra EVA12,5_80% atinge 45,5°C na face exposta ao calor, enquanto a amostra de EVA12,5_60% só chega aos 43,6°C para a mesma face exposta ao calor. Na comparação em relação à face oposta ao calor, as temperaturas das duas amostras diferem desde as medições iniciais até o final do ensaio, isto é, na amostra EVA12,5_80% as temperaturas são cerca de 4°C mais baixas do que aquelas registradas na amostra EVA12,5_60%.

A partir disso, é possível afirmar que a amostra de EVA12,5_80%, tendo apresentado a menor temperatura na face oposta ao calor, resultou em melhor desempenho do ponto de vista da resistência térmica, mantendo as maiores e menores temperaturas dos lados aquecido e refrigerado, respectivamente. Ao considerar a diferença entre as temperaturas médias globais para as faces exposta e oposta ao calor, e ao comparar as duas amostras, EVA12,5_80% (~15,7°C) e EVA12,5_60% (~11,4°C), confirma-se também o melhor desempenho para a amostra EVA12,5_80%. Tendo em conta que as duas amostras (paredes simples) têm a mesma espessura total (definidas pela mesma espessura dos blocos EVA e do revestimento), pode-se afirmar que o teor de EVA presente nos blocos influencia diretamente no seu desempenho térmico, como variável única no sistema em análise. Nesse caso, o maior teor de EVA (80%) na amostra EVA12,5_80%, é determinante para o seu melhor desempenho térmico.

As diferenças entre as temperaturas médias globais registradas nos ambientes (medições registradas pelo termômetro de globo negro no interior da câmara) e nas superfícies das amostras foram organizadas na Tabela 18. As comparações entre Temperaturas médias Globais nos ambientes mostram que as temperaturas foram praticamente as mesmas para as duas amostras, diferindo em apenas 1,7°C. Já nas temperaturas superficiais, como já dito, EVA12,5_80% teve maior diferença de temperatura.

Tabela 18. Comparativo entre Temperaturas médias Globais nos ambientes e nas faces das paredes simples EVA12,5_60% e EVA12,5_80%

Amostras	Temperatura média global no ambiente			Temperatura média global na face		
	Exposto ao Calor (TGae)	Oposto ao Calor (TGao)	Diferença TGae e TGao	Exposta ao Calor (TGfe)	Oposta ao Calor (TGfo)	Diferença TGfe e TGfo
	°C	°C	°C	°C	°C	°C
EVA12,5_80%	60,1	17,3	42,8	44,8	29,1	15,7
EVA12,5_60%	58,2	17,1	41,1	42,9	31,5	11,4

TGae = Temperatura média Global no ambiente exposto ao calor

TGao = Temperatura média Global no ambiente oposto ao calor

TGfe = Temperatura média Global na face da parede exposta ao calor

TGfo = Temperatura média Global na face da parede oposta ao calor

Os cálculos de desempenho térmico segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005a), também foram realizados para estas amostras de parede simples. Nos cálculos foram considerados a argamassa de assentamento e reboco, em ambas as faces nas paredes simples (APÊNDICE C). Como o esperado, os valores mostraram a influência da porosidade do EVA nos valores de condutividade e densidade.

O material com um maior percentual de resíduo (EVA_80%) teve os menores valores dentre as amostras, para todas as propriedades termofísicas, exceto para o calor específico, o qual adotou-se o mesmo valor do concreto. A diferença entre a densidade do EVA com 60% e 80%, foi de 240 Kg/ m³, valor que difere bem um material do outro. Já os valores da condutividade térmica, apresentaram uma diferença de apenas 0,8 W/(m.K), o que pode ter comprometido os resultados dos cálculos de desempenho (pois a resistência térmica é obtida através da espessura do material e sua condutividade).

Os dados obtidos nos cálculos de desempenho confirmam os procedimentos realizados em câmara térmica de laboratório (Tabela 19), os dois ensaios apontaram a parede de EVA12,5_60%, como a que possui a maior Transmitância térmica e Capacidade térmica, ou seja, transmite mais calor que a amostra de EVA_80% e também armazena calor por mais tempo, fato comprovado pelo atraso térmico, que também é mais alto que na amostra de EVA12,5_80%. Apesar da amostra de EVA12,5_60% ter uma maior capacidade térmica, segundo os requisitos das NBR 15220-3 (ABNT,2005-a) e NBR 15575-4 (ABNT, 2012), ela é considerada uma parede leve, podendo ser utilizada em clima quente e úmido, por exemplo.

Tabela 19. Valores da Resistência Térmica, Capacidade térmica, Transmitância Térmica, atraso e fator de calor solar de EVA12,5_60% e EVA1,5_80%

Amostra	R (m ² .K)/W	CT kJ/ m ² . K	U W/m ² .K	φ Horas	FS _o %
EVA12,5_60%	0,2174	176,6	2,6	4,1	3,1
EVA12,5_80%	0,2363	154,1	2,5	3,7	3,0

Apesar das paredes EVA12,5_80% e EVA12,5_60%, na maioria dos critérios das normas serem “taxadas” como leves, mais uma vez os parâmetros da norma são questionáveis, pois para o fator solar, todas foram classificadas como pesadas. Na Tabela 20, Observa-se que a classificação das amostras, os valores de U, Φ e FS_o %, levada em consideração, não foram constantes nas comparações com os valores estabelecidos pelas NBR 15575-4 (ABNT, 2012) e NBR 15220-3 (ABNT,2005a).

Tabela 20. Classificação das amostras EVA12,5_60% e EVA12,5_80% através dos valores de Transmitância Térmica, atraso e fator de calor solar

Amostras	EVA 12,5_60%	EVA12,5_80%
----------	--------------	-------------

U	2,6 W/m ² .K - Leve	2,5 W/m ² .K - Leve
Φ	4,1 horas - Leve Refletora	3,7 horas - Leve Refletora
FS _o	3,1%-Pesada	3,0% - Pesada

4.3 AMOSTRA DE EVA14_60%

A amostra EVA14_60% constitui uma parede simples executada com blocos de EVA, que tem a maior espessura dentre todos os blocos estudados (14 cm de espessura), sendo fabricado apenas com 60% de EVA, em relação ao volume total de agregados na dosagem. Nesse caso, a espessura total para essa parede foi igual a 16 cm, considerando que ela é revestida em ambos os lados com reboco argamassado com 1 cm de espessura. Na Figura 26 observa-se o desempenho dessa amostra.

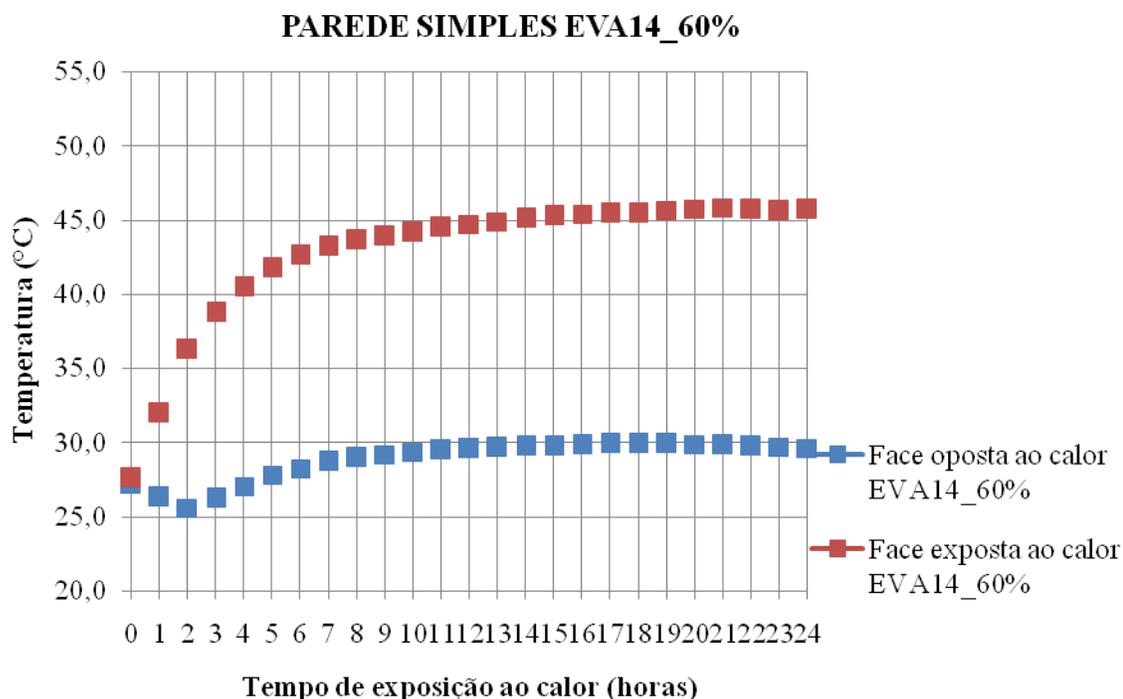


Figura 26. Variação de temperatura da mini parede simples EVA14_60% em câmara térmica

O comportamento da amostra no início do ensaio é igual aos casos anteriores, demonstrando que há um padrão. A maior temperatura registrada nos termopares foi igual a 45,8°C na face exposta ao calor, no final do ensaio, e a menor temperatura encontrada foi igual a 25,6°C para os termopares da face oposta ao calor, com duas horas de ensaio. Após as quatorze primeiras horas, as médias das temperaturas dos termopares nas faces exposta e oposta ao calor

tendem a se estabilizar, mas mantendo-se com pequenos incrementos durante as horas seguintes para as temperaturas registradas na face exposta ao calor.

A temperatura média global para a face exposta ao calor foi igual a 45,6°C e para a face oposta ao calor foi igual a 29,8°C, resultando em uma variação de temperatura de ~15,8°C, praticamente o mesmo valor obtido com a amostra EVA12,5_80%. Porém, deve-se considerar que o bloco EVA14_60% tem maior espessura e sua geometria tem maiores câmaras de ar (vazios internos aos blocos) comparada ao bloco EVA12,5_80%, o que pode estar influenciando para igualar os desempenhos, mesmo com teores diferentes de EVA nas composições.

A diferença entre a temperatura média global registrada no ambiente aquecido (medições feitas pelo termômetro de globo negro no interior da câmara) e a temperatura correspondente na superfície da amostra EVA14_60% (face exposta ao calor) foi igual a 15,2°C. Por outro lado, a diferença entre a temperatura média registrada na superfície da amostra EVA14_60% (face oposta ao calor) e a temperatura média global registrada no ambiente refrigerado (medições feitas pelo termômetro de globo negro no interior da câmara) foi igual a 12,0°C.

Nos métodos de cálculo foram encontrados os seguintes valores: $R=0,2257\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$; $U=2,5\text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$; $CT=145,2\text{ KJ}/\text{m}^2.\text{K}$; $\phi=3,5$ horas e $FS_o=3,0\%$. Os dados da resistência térmica e capacidade térmica dessa parede, foram valores baixos, assim como das demais amostras analisadas até o momento, inclusive chegou a ter valores menores que a mini-parede de concreto. Após confrontarmos os valores encontrados para a transmitância térmica e atraso térmico desta amostra, com as dos índices estabelecidos pelas normas, podemos classifica-la como uma parede Leve.

4.4 PAREDES DUPLAS

Para avaliar o desempenho das paredes duplas foram adotadas três combinações de paredes simples, com espaço entre elas sempre com 4 cm, constituindo uma câmara de ar não ventilada única: TC+EVA9_60%, TC+EVA12,5_80% e EVA9_60%+EVA12,5_80%.

A primeira delas, TC+EVA9_60%, foi instrumentada de duas maneiras diferentes: primeiramente a parede dupla TC+EVA9_60% foi posicionada na câmara, com a parede TC voltada para o lado aquecido e a parede EVA9_60% voltada para o lado refrigerado; num segundo momento a parede dupla EVA9_60%+TC foi posicionada de forma inversa, com a

parede EVA9_60% voltada para o ambiente aquecido e a parede TC para o ambiente refrigerado. Em suas duas formas a amostra resultou em espessura total igual a 24 cm, considerando 1 cm de revestimento argamassado apenas nos seus dois lados externos, ou seja, não há revestimento nas paredes simples no lado em contato com a câmara de ar não ventilada. Na Figura 27 podemos observar o desempenho da mini-parede durante o ensaio, em suas duas formas.

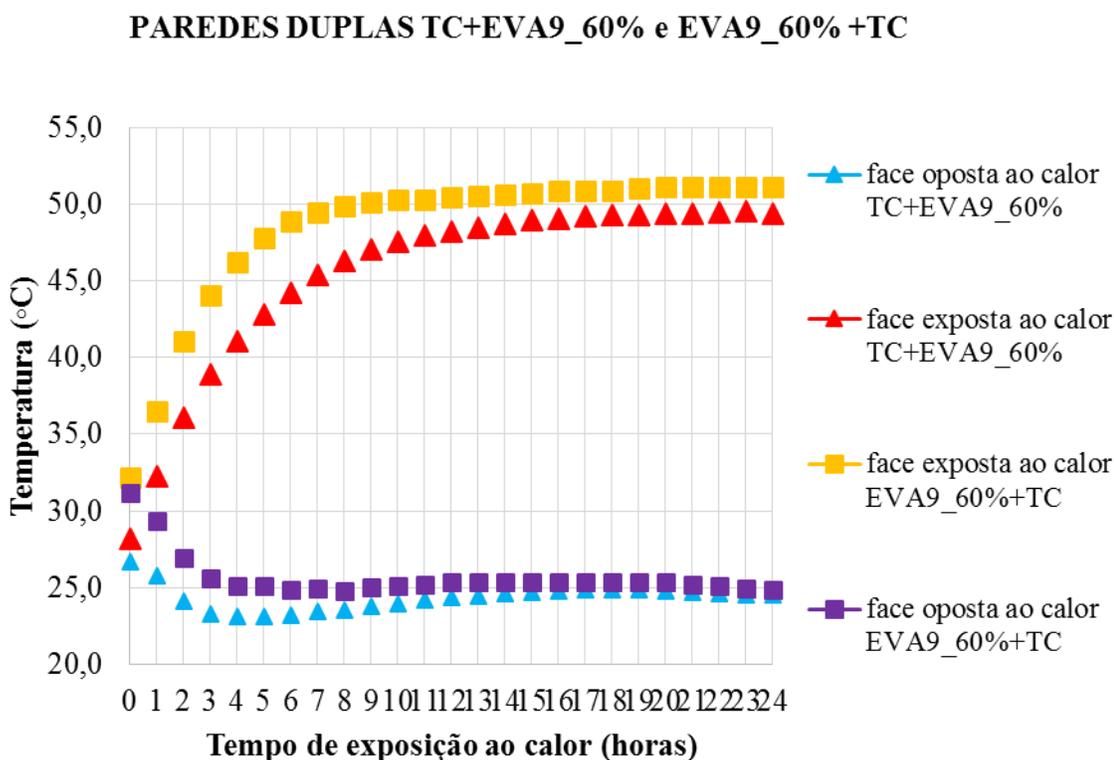


Figura 27. Variação de temperatura das mini paredes duplas TC+EVA9_60% e EVA9_60% +TC

Na amostra TC+EVA9_60%, nas cinco horas iniciais do ensaio, percebe-se que a temperatura na face exposta ao calor (TC) partiu dos 27°C e chegou a atingir 43°C, aumentando 17°C, enquanto na face oposta ao calor (EVA9_60%) houve uma queda de 4°C. Como observado nas paredes simples aqui também verifica-se que somente após as quatorze primeiras horas as médias das temperaturas dos termopares na face oposta ao calor tendem a se estabilizar. Da mesma forma, após as quatorze primeiras horas, as médias das temperaturas dos termopares na face exposta ao calor tendem a ter pequenos incrementos até o final do ensaio. Ao completar 24 horas de ensaio, a maior temperatura registrada nos termopares em TC+EVA9_60% foi de

50,7°C na face exposta ao calor (TC), e a menor temperatura encontrada foi 23,1°C para os termopares na face oposta ao calor (EVA9_60%), após cinco horas de ensaio. A temperatura média global para a face exposta ao calor (TC) foi igual a 50,0°C e para a face oposta ao calor (EVA9_60%) foi igual a 24,7°C, resultando numa variação de temperatura de ~25,3°C.

A diferença entre a temperatura média global registrada no ambiente aquecido (medições feitas pelo termômetro de globo negro no interior da câmara) e a temperatura correspondente na superfície da amostra TC (face exposta ao calor) foi igual a 9,0°C. Por outro lado, a diferença entre a temperatura média registrada na superfície da amostra EVA9_60% (face oposta ao calor) e a temperatura média global registrada no ambiente refrigerado (medições feitas pelo termômetro de globo negro no interior da câmara) foi igual a 8,1°C.

De forma semelhante ao caso anterior, verifica-se nas cinco horas iniciais do ensaio que a temperatura no lado aquecido (EVA9_60%) partiu dos 32°C e chegou a atingir 48°C, aumentando 16°C, enquanto no lado refrigerado (TC) houve uma queda de 6°C. Percebe-se que ao completar 24 horas de ensaio, a maior temperatura registrada nos termopares foi igual a 51,1°C na face exposta ao calor (EVA9_60%), e a menor temperatura, nas primeiras 6 horas a 8 horas, encontrada foi igual a 24,7°C, para os termopares na face oposta ao calor (TC). A temperatura média global na face exposta ao calor foi igual a 51,0°C e a na face oposta ao calor foi igual a 25,2°C, resultando em uma diferença de temperatura entre as faces aquecida e refrigerada igual a ~25,8°C.

Observa-se que a diferença entre as médias de temperaturas globais encontradas nos dois casos ensaiados foi muito pequena, apenas 0,5°C. Isso indica que a posição dessa parede dupla em relação aos ambientes aquecido e refrigerado não influenciou de forma significativa nos resultados do desempenho térmico. Portanto, optou-se por utilizar a face com TC sempre voltada para a parte aquecida em todos os ensaios de amostras de paredes duplas que ele esteja presente.

Na sequência, a parede dupla ensaiada (TC + EVA12,5_80%) foi constituída por uma parede simples com tijolos cerâmicos (TC) e uma parede simples com blocos EVA com 12,5cm de espessura e 80% de teor de EVA (EVA12,5_80%), com espaço de 4 cm de câmara de ar não ventilada entre elas. O bloco EVA12,5_80% foi escolhido para estar presente nas demais amostras, por ter tido bom desempenho térmico.

A outra parede dupla EVA9_60% + EVA12,5_80% é constituída por uma parede simples executada com blocos EVA com 9cm de espessura e 60% de teor de EVA (EVA9_60%) e outra

parede simples de blocos EVA com 12,5cm de espessura e 80% de teor de EVA (EVA12,5_80%), com 4 cm de câmara de ar não ventilada entre elas. Na Figura 28 podemos verificar seu desempenho no decorrer do ensaio.

PAREDES DUPLAS EVA9_60%+12,5_80% E TC+EVA12,5_80%

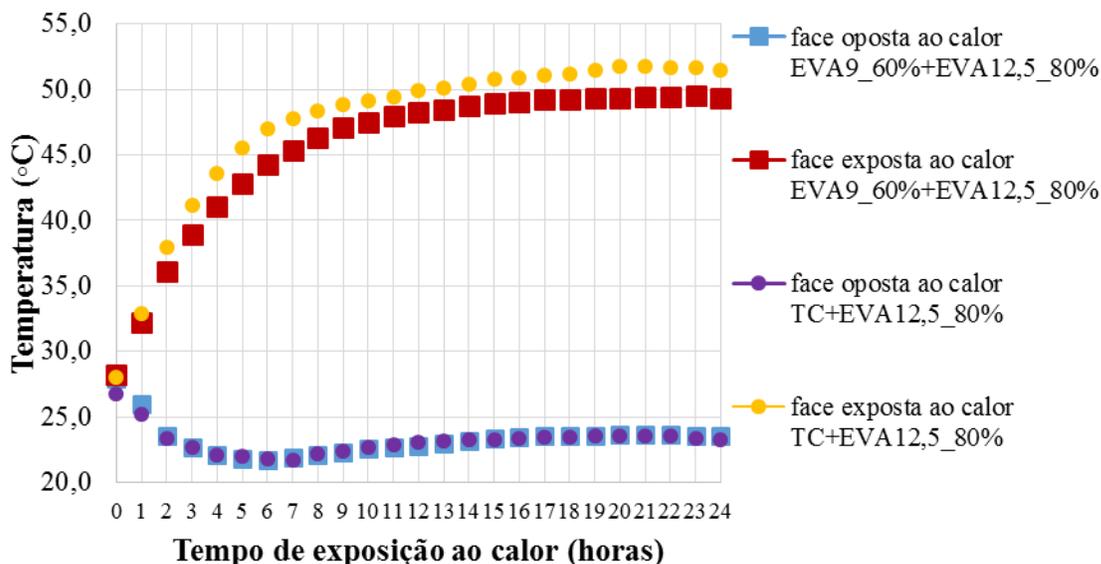


Figura 28. Variação de temperatura das mini paredes duplas EVA9_60%+EVA12,5_80% e TC+EVA12,5_80%

No gráfico da Figura 28 podemos observar que, nas cinco horas iniciais do ensaio a temperatura no lado aquecido as duas amostras partiram dos 28°C. TC+EVA12,5_80% chegou a atingir cerca de 46°C, aumentando 18°C, enquanto no lado refrigerado (EVA12,5_80%) houve uma queda de 6°C desde a temperatura inicial (28°C) até completar sete horas (22°C). Já amostra EVA9_60%+EVA12,5_80% nas cinco horas iniciais do ensaio a temperatura no lado aquecido (EVA9_60%) chegou a atingir 43°C, aumentando 15°C, o que comparado com as demais paredes duplas teve o menor aumento. Enquanto isso no lado refrigerado (EVA12,5_80%) houve uma queda de 6°C desde a temperatura inicial (28°C) até completar seis horas (22°C), o que foi igual a amostra TC+EVA12,5_80%

A maior temperatura registrada nos termopares em TC+12,5_80% foi igual a 51,8°C na face exposta ao calor (TC), e a menor temperatura encontrada foi igual a 21,7°C para os

termopares da face oposta ao calor (EVA12,5_80%). Em EVA9_60%+EVA12,5_80% a maior temperatura registrada foi de 49,5°C na face exposta ao calor (EVA9_60%) e a menor temperatura encontrada foi 21,7°C para os termopares da face oposta ao calor (EVA12,5_80%).

Quanto a temperatura média global na amostra TC+EVA12,5_80%, na face exposta ao calor (TC) foi igual a 51,4°C e a na face oposta ao calor foi 23,4°C, resultando em uma diferença de temperatura entre as faces aquecida e refrigerada de ~27,9°C, que foi o maior valor entre todas as amostras. A temperatura média global na face exposta ao calor da amostra EVA9_60%+EVA12,5_80% foi igual a 49,3°C e a na face oposta ao calor foi diferiu em apenas 0,1°C de TC+EVA12,5_80%, resultando em uma diferença de temperatura entre as faces aquecida e refrigerada de ~25,7°C. Com isso podemos observar uma maior amplitude térmica para a amostra de parede dupla composta por tijolo cerâmico e o bloco de EVA com 12,5cm e maior percentual de resíduo (80%).

A diferença entre a temperatura média global registrada no ambiente aquecido (medições feitas pelo termômetro de globo negro no interior da câmara) e a temperatura correspondente na superfície da amostra TC (face exposta ao calor) foi igual a 6,4°C. Por outro lado, a diferença entre a temperatura média registrada na superfície da amostra EVA12,5_80% (face oposta ao calor) e a temperatura média global registrada no ambiente refrigerado (medições feitas pelo termômetro de globo negro no interior da câmara) foi igual a 5,8°C.

Na amostra de EVA9_60%+EVA12,5_80% a diferença entre a temperatura média global registrada no ambiente aquecido e a temperatura correspondente na superfície da amostra EVA9_60% foi igual a 7,2°C. A diferença entre a superfície da amostra EVA12,5_80% (face oposta ao calor) a temperatura média global registrada no ambiente refrigerado foi igual a 5,1°C. Pode-se observar que as duas amostras tiveram comportamento parecido.

Na Figura 29 encontram-se as médias das temperaturas globais registradas nas faces expostas e opostas ao calor para cada uma das amostras de paredes duplas ensaiadas. Também apresentam-se as diferenças entre essas suas espessuras finais.

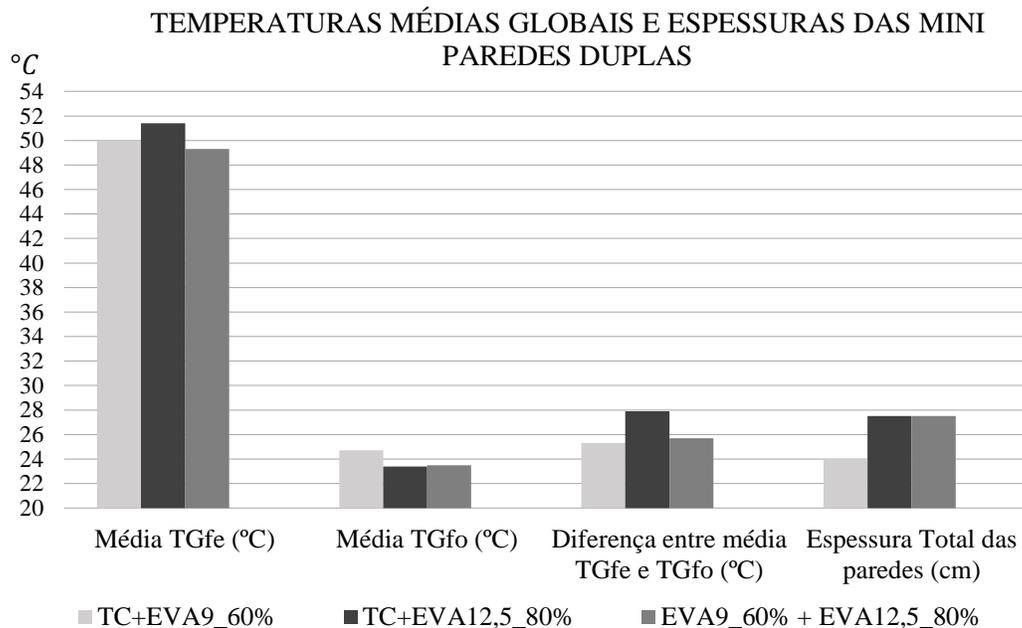


Figura 29. Gráfico com Espessuras e Temperaturas médias Globais nas faces das paredes duplas ensaiadas

Na figura 29 verifica-se que a parede dupla que apresentou maior diferença em relação a temperatura média global entre as faces aquecida e refrigerada foi TC+EVA12,5_80% (~27,9°C). Ao comparar as amostras TC+EVA12,5_80% (~27,9°C) e EVA9_60%+ EVA12,5_80% (25,7°C), que têm a mesma espessura (27,5 cm) total nas suas paredes duplas, verifica-se que a amostra TC+EVA12,5_80% chegou a ter melhor desempenho térmico, apresentando 2,2°C a mais na diferença da temperatura média global. Esse resultado indica que a parede dupla TC+EVA12,5_80% tem melhor desempenho térmico, no que se refere à resistência térmica do sistema, proporcionando maior isolamento térmico entre as faces da parede dupla em análise.

Apesar da amostra TC+EVA9_60% ter uma espessura menor (24 cm) que as demais paredes duplas, ela apresentou uma diferença de temperatura muito próxima (diferindo em apenas 0,5°C) daquela apresentada pela amostra EVA9_60%+EVA12,5_80%, que tem 3,5 cm a mais de espessura. Nesse caso, os volumes de ar internos aos blocos e tijolos que compõem os sistemas de paredes duplas, por serem diferentes, podem estar influenciando no desempenho térmico, igualando os valores comparados (TC+EVA9_60% = 25,3°C x EVA9_60%+EVA12,5_80%, = 25,7°C).

Nos cálculos de desempenho desenvolvidos para estas amostras, os resultados estão em conformidade com os procedimentos realizados em câmara térmica de laboratório, os dois

ensaios apontaram as paredes duplas como as paredes com maior resistência térmica e capacidade térmica, conseqüentemente as mais isolantes dentre as amostras (Tabela 21). Comparando os valores encontrados de U, ϕ e FS_o com os fornecidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2012) e NBR 15220-3 (ABNT,2005-a), chega-se novamente a confirmação que todas as amostras de paredes duplas são vedações pesadas. Desta vez não houve divergência com a norma, em nenhum aspecto analisado, nem mesmo no fator solar.

Tabela 21. Resultado dos cálculos de desempenho para as paredes duplas

Amostra de paredes duplas	Resistência Térmica-R $m^2.K/W$	Capacidade térmica- CT $KJ/ m^2. K$	Transmitância Térmica – U $W/m^2.K$	Atraso Térmico- ϕ horas	Fator Solar- FS_o %
TC+ EVA9_60%	0,5934	162,0	1,3	6,1	1,6
TC+ EVA12,5_80%	0,6399	273,1	1,2	9,4	1,5
EVA9_60%+ EVA12,5_80%	0,5680	306,3	1,3	8,4	1,6

As demais paredes também acompanharam o desempenho da câmara térmica, e a parede dupla TC + EVA12,5_80% que no laboratório apresentou a maior amplitude térmica, nos cálculos continuou mostrando que tem a maior capacidade de isolamento térmico dentre as amostras, atingindo um atraso térmico de 9,4 horas, uma baixa transmitância térmica ($1,2 W/m^2.K$) e a maior resistência térmica ($0,6399 m^2.K/W$) dentre as amostras.

As mini paredes TC+EVA9_60% e EVA9_60%+12,5_80%, apesar de terem espessuras diferentes, apresentaram na câmara uma diferença não significativa em sua variação de temperatura. Nos cálculos essas amostras tiveram os valores de resistência térmica muito próximos, porém a capacidade térmica e o atraso térmico diferiram bastante, pois o a presença do concreto na amostra EVA9_60%+EVA12,5_80% agrega a essa parede um elevado fluxo de calor.

As vedações com valores altos valores de resistência térmica tiveram baixa transmitância térmica, pois estes valores são inversamente proporcionais. A alta capacidade térmica, assim como a baixa transmitância são indicadas para lugares onde é necessário armazenar o calor recebido do exterior durante o dia, para direcioná-lo a noite para o interior. Com isso estas paredes tornam-se boas opções para o clima quente e seco, como é o caso do semi-árido brasileiro, o qual necessita de alvenarias que desempenhem essa função.

De acordo com Granja e Labaki (2004) antes de decidir sobre o tipo de vedação a ser utilizada, deve-se considerar não só a transmitância térmica e os parâmetros climáticos externos, mas também os horários de uso dos ambientes da edificação, e o grau de desconforto que poderá ser gerado ao longo do dia.

As paredes duplas por serem classificadas como pesadas, não são recomendadas para o clima quente e úmido, sendo indicado o uso destas vedações externas somente com a presença de uma câmara de ar ventilada. Mas isto dependerá do uso o qual as paredes se destinarão. A concepção de sistemas de paredes deve levar em conta também o período de utilização da edificação, permitindo inferir que o adiantamento dos picos da onda térmica, causado por uma parede mais leve em relação a uma de maior massa, o mesmo raciocínio vale para justificar o uso do maior atraso térmico das paredes de maior massa (GRANJA E LABAKI, 2004).

4.5 FLUXO DE CALOR NAS AMOSTRAS DE PAREDES SIMPLES

Como dito anteriormente, sempre que existir uma diferença de temperatura entre meios diferentes, necessariamente ocorre uma transferência de energia térmica. O calor ou fluxo de calor é definido como a taxa de energia térmica transferida por unidade de tempo a uma diferença de temperatura. Essa transferência de calor ocorre sempre no sentido decrescente de temperatura.

Com os experimentos na câmara térmica, foi possível submeter as amostras a um regime permanente de calor, ou seja, as temperaturas nas faces das amostras atingiram um padrão estável. Após ter conhecimento das temperaturas nestas faces, foi possível calcular o fluxo de calor em uma direção definida por unidade de área perpendicular a direção de transferências, de cada mini parede simples. Isto foi possível utilizando a lei de Fourier.

Através dos cálculos de desempenho térmico foi possível obter a resistência térmica de cada amostra. Na câmara térmica, após ser alcançado o regime permanente de calor, foi possível chegar a temperatura das faces de cada amostra. Após isso, os valores foram substituídos na lei de Fourier e foi gerado conhecimento do fluxo de calor de cada mini parede simples ($1,2\text{m}^2$). Na tabela 22 pode-se observar a resistência térmica (fornecida pelos cálculos de desempenho), a diferença de temperatura (fornecido pelos ensaios na câmara térmica) e o fluxo de calor de cada amostra.

Tabela 22. Fluxo de calor (Q) das mini-paredes simples

Amostra	Resistência	Diferença de	Diferença de	Fluxo de	Fluxo de calor para a
	térmica (R)	temperatura entre	temperatura entre	calor/ m ²	amostra de 1,2m ² (Q)
	(m ² .K)/W	as faces (ΔT)	as faces (ΔT)	(Q)	
		K	°C	W	W
EVA9_60%	0,1903	286,7	13,5	1506	1808
TC	0,2680	285,0	11,8	1063	1276
Concreto	0,1369	286,5	13,3	2092	2511
EVA12,5_60%	0,2174	284,6	11,4	1309	1571
EVA12,5_80%	0,2363	288,9	15,7	1222	1467
EVA14_60%	0,2257	289,0	15,8	1280	1536

Nota:

$$\text{Como } Q = \frac{k.A}{L.\Delta T} \text{ e } R = \frac{L}{k.A} ; \text{ Logo, } Q = \frac{R}{\Delta T}$$

Verifica-se que o maior fluxo de calor foi encontrado na parede de concreto, que por sua vez, está inclusa dentro das mini paredes com menor espessura. Isto dar-se ao fato do bloco de concreto ser composto por um material com baixa resistência térmica e alta condutividade térmica. Dentre as amostras de EVA12,5_60% e EVA12,5_80%, prova-se novamente que quanto maior a proporção de resíduo de EVA, maior é a condutividade do material, assim a mini parede com EVA12,5_80% teve o menor fluxo de calor, chegando a aproximar-se do bloco EVA14_60%, que tem uma maior espessura, o que influencia para obter um baixo fluxo de calor.

A mini parede TC teve o menor fluxo de calor dentre todas as amostras analisadas, apesar de no ensaio da câmara ela ter demonstrado desempenho parecido com o de EVA9_60% e Concreto, os cálculos mostraram que a baixa resistência térmica do bloco Cerâmico foi essencial para que este bloco atingisse um baixo fluxo de calor. Apesar de TC, EVA9_60% e Concreto serem paredes leves e terem baixas capacidade térmica, o fluxo de calor é menor em TC. Monstrando que esta parede tem o melhor desempenho para o clima “quente e úmido”, com maior resistência térmica e um isolamento ideal para este clima.

Givoni (1992) define que para regiões quentes e úmidas, que a capacidade térmica em edificações deve ser baixa para prevenir a acumulação do calor durante o dia, o que poderia

e elevar a temperatura interna no período da noite com a liberação do calor armazenado. Além disso é importante ter boa resistência térmica para minimizar o fluxo de calor exterior.

Sabe-se que para aumentar o fluxo de calor usa-se materiais bons condutores de calor, isto é, com K elevado ou, reduz-se a espessura da parede. Se o objetivo é diminuir o fluxo de calor é possível usar materiais isolantes, que tenham baixa condutividade ou aumentar o valor da espessura da parede. No caso das paredes duplas, pode-se afirmar que TC+EVA12,5_80% terá o menor fluxo de calor dentre estas, já que os valores encontrados para TC (1063W) e EVA12,5_80% (1222W) foram os menores dentre todas as amostras.

Na figura 30 verifica-se mais uma vez que a quantidade de resíduo incorporada aos blocos, influencia na taxa de transferência de calor. Pois apesar da presença de ar, contida nos volumes das câmaras internas dos blocos EVA12,5_60% e EVA12,5_80% serem iguais, o bloco com um maior percentual de EVA teve a menor taxa de calor. Também é possível observar que EVA14_60% apesar de ter a maior espessura e as maiores câmaras de ar, teve o fluxo de calor mais alto que EVA12,5_80%.

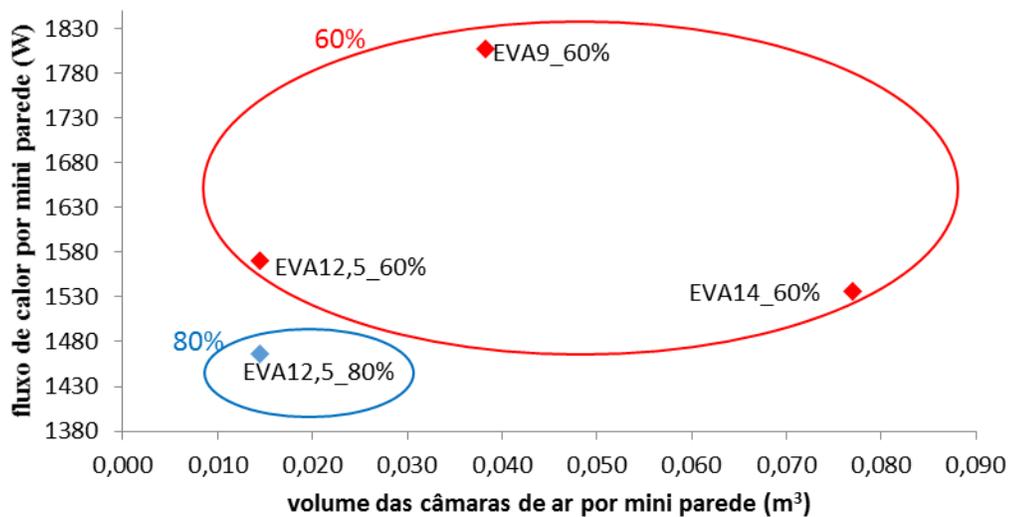


Figura 30. Relação entre os volumes das câmaras de ar das mini-paredes e o fluxo de calor

Este último capítulo traz algumas considerações, à nível de conclusão, verificando se os objetivos traçados foram respondidos e deixando algumas recomendações para pesquisas futuras.

5.1 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar o desempenho térmico de paredes com uso de blocos EVA, onde os instrumentos e técnicas utilizados nos permitiram identificar muitos pontos positivos na utilização de alvenarias com esses blocos. A partir das análises das informações obtidas por meio dos métodos propostos, ficou claro que há diferenças significativas no desempenho térmico entre os blocos EVA, entre suas diversas geometrias, percentuais de resíduos e até mesmo em relação ao tijolo cerâmico e bloco de concreto.

Os objetivos específicos, também foram alcançados. A pesquisa investigou o desempenho térmico de sistemas de paredes com diferentes configurações e espessuras, verificando os sistemas de vedações verticais adequados para o clima quente seco do sertão nordestino e ao clima quente e úmido, presente nas cidades litorâneas; investigou-se a influência do teor de resíduos, com as proporções de 60% e 80%, no desempenho térmico de paredes simples e dupla; e foi feita uma caracterização da influência do teor de resíduos incorporados as diferentes geometria dos blocos, comparativamente as dimensões e ao volume de ar aprisionado nas câmaras não ventiladas no interior das paredes.

5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se afirmar que todas as paredes simples analisadas mostraram potencial para serem utilizadas no clima quente e úmido, presente nas cidades litorâneas do nordeste. A capacidade térmica exigida por norma, para uma parede ser caracterizada como leve refletora, foi atendida em todos os sistemas de alvenarias simples propostos.

Além disso, apesar dos resultados nos ensaios da câmara térmica apontarem um desempenho muito próximo entre algumas amostras, após realizados os cálculos de fluxo de calor foi possível entender melhor a diferença entre as amostras. A parede TC, apesar de ter demonstrado a menor amplitude térmica na câmara, comparada a alvenaria de concreto e de EVA9_60%, obteve o menor fluxo de calor entre as vedações analisadas.

Outro sistema de vedação que se sobressaiu entre as amostras analisadas foi EVA12,5_80%, que além de ser considerada uma parede leve, tem características isolantes, possuindo uma baixa transferência de taxa de calor dentre as alvenarias analisadas. Isso faz dela uma boa alternativa, pois o bloco que a compõe reutiliza 80% do resíduo da indústria de calçado, e atende com eficiência as exigências do clima quente e úmido que além do isolamento térmico necessita da alta resistência térmica.

As amostras de paredes duplas desenvolvidas foram caracterizadas como pesadas, sendo ideais para as exigências do semi-árido, clima presente no sertão nordestino. Vale ressaltar, o que já foi dito nas análises das mini paredes duplas: a concepção da escolha do sistemas de paredes deve levar em conta também o período de utilização da edificação, permitindo inferir no adiantamento dos picos da onda térmica. Um edifício empresarial que não faz uso de seus espaços no período noturno, por exemplo, pode fazer uso de uma parede pesada em sua fachada Oeste (vedação que depois da coberta, é a parte da edificação que mais recebe cargas de radiação solar). Como as paredes duplas apresentaram atraso térmico por volta de 8 horas, o calor recebido durante o dia nesta fachada, ficará armazenado e só será enviado ao edifício no período noturno, onde este estará desativado.

Com o desenvolvimento dos cálculos de desempenho e fazendo-se a relação das câmaras de ar presentes nas alvenarias e seu fluxo de calor, foi comprovada a hipótese de que quanto maior a presença do resíduo melhor o desempenho do bloco. A análise comparativa entre os dois blocos EVA com 12,5cm, nos mostrou claramente o melhor desempenho térmico do bloco com 80% de resíduo.

Assim, o uso dos blocos EVA são convenientes para a construção civil, pois apresentaram boas respostas na construção de paredes com desempenho térmico apropriado para alguns climas do nordeste do Brasil, além de que eles podem contribuir para o aproveitamento de partes do resíduo gerados pelas indústrias de calçados.

5.3 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Por mais completo que um trabalho seja, ele não pode ser dado como acabado ou definitivo. Ao ser lido, tende a causar impressões, impactar e gerar questionamentos que contribuem para o avanço do conhecimento. Nesse sentido, espera-se que presente trabalho, a partir dos métodos e técnicas adotados, das análises e discussões, impulse outras pesquisas que viabilizem o uso dos blocos EVA na construção civil. Para dar continuidade a este trabalho deixa-se algumas sugestões de pesquisas futuras:

- Comparar as vedações compostas por blocos EVA com outros sistemas de paredes, além dos constituídos por tijolos cerâmicos e concreto;
- Realizar ensaios de estanqueidade ao fogo com as alvenarias desenvolvidas com as diferentes geometrias de blocos EVA;
- Propor uma nova geometria para o bloco de EVA12,5_80%, aumentando o seu número de vazios, de forma que não comprometa sua resistência, podendo assim melhorar ainda mais o desempenho deste bloco;
- Aumentar o percentual de resíduo incorporado ao bloco de EVA14_60%;
- Construir protótipos com os diferentes blocos EVA para fazer medições de conforto térmico, acústico e comparar a outros sistemas;
- Desenvolver painéis com resíduos EVA que possam ser utilizados em paredes duplas com câmara de ar ventiladas, ideais para o clima quente e úmido.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M; GARCIA, V; MALDONADO, E; BRAGANÇA, L - **A influência da temperatura e da radiação solar na capacidade de armazenamento térmico de elementos construtivos**. Engenharia Civil. Ed. 5, p. 3-13. Bragança, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados-Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados-determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – parte 3: Zoneamento Bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-5: Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade pelo método fluximétrico**. Rio de Janeiro 2005c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Desempenho Térmico das Edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes construtivos**. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: 2012. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 4: Sistemas de vedações externas e internas**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118: 2010. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria–Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2010.

BEZERRA, A. J. V. **Utilização do Resíduo da Indústria de Calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado Leve na Produção de Blocos Vazados de Concreto para Alvenaria sem Função Estrutural**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.

BEZERRA, L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte- UFRN. Natal, 2003.

BITENCOURT, L; Cândido, C. **Introdução a ventilação natural**, p.173, 3ª ed. EDUFAL, Maceió, 2008.

BÓ, M. D; NEVES W. F; AMARAL, S. **Substituição do mercúrio por água na determinação da densidade aparente do suporte cerâmico cru.** Cerâmica industrial p. 42-46. São Paulo, 2002.

BUSSOLOTI, F. N. **Como funcionam as construções com terra e adobe.** Bio Arquitetura, 2008. Disponível em: <http://ambiente.hsw.uol.com.br/adobe3.htm> Acesso em: 14.07.2013

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa.** São Paulo, Mcgraw Hill, 2009.

COUTINHO, A. S. **Conforto e insalubridade térmicas em ambientes de trabalho.** 2. ed. João Pessoa: Ed Universitária, 2005.

DA SILVA, L. R. M. C. **Análise técnico/financeira de paredes exteriores em panos simples.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2007.

FIGUEIRA, D.S. **Análise experimental e numérica do comportamento térmico de um coletor solar acumulador.** Tese (Doutorado em Engenharia) Escola de Engenharia. Universidade Federal do rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** 6. ed. São Paulo: Nobel, 2001.

GIVONI, B. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v.18, n.1, p. 11-23, 1992.

GARLET, G. **Aproveitamento de Resíduos de EV.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como Agregado para Concreto Leve na Construção Civil.** 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, UFRS. Porto Alegre, 1998.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras** 2ª Ed. / Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC. Santa Catarina, 1998.

GRANJA, A. D.; LABAKI, L. C. **Paredes orientadas a leste e a oeste: uma abordagem crítica em relação ao conforto e à eficiência energética.** In: Encontro Nacional do Ambiente Construído- ENTAC. V. 4, n. 4, p. 65-75. Porto Alegre, Rio grande do Sul, 2004.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P; BERGMAN, T. L; LAVINE, A. S. **Fundamentos de Transferência de calor e massa.** 6ª edição. Rio de Janeiro, RJ. Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2008.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** Editores PW. São Paulo, 1997.

LETERTRE, F.; RENAUD, H. **Travaux de maçonnerie et finitions.** Paris, Foucher. 1978.

LIMA FILHO, M. R. F. **Avaliação do Desempenho Mecânico de Protótipo Executado com Blocos EVA: Estudo de impactos horizontais em alvenarias e suas interações com outros elementos da construção.** (Dissertação de Mestrado). UFPB, 2008.

MADEIRA, A. Q. **Zoneamento Bioclimático do Estado do Paraná.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

MANUAL DO CONDUTIVÍMETRO K30. Laboratório de Meios Porosos e Propriedades termofísicas. UFSC. Florianópolis, 2011.

MASCARÓ, L. **Luz, Clima e Arquitetura.** Porto Alegre: GG Edições técnicas, 1981.

MELO, A. B.; LIMA FILHO, M. R. F. **Avaliação de desempenho estrutural de protótipo com paredes construídas com blocos EVA.** Ambiente Construído, v. 9, n 4, p. 141-155 out./dez, Porto Alegre, 2009.

MORAES. S. R. P.; OLIVEIRA. A. L. R.; SIMÃO, P. S.; RODRIGUES. J. S. **Eficiência bioclimatológica dos termômetros construídos com Luminária plástica e bola de pingue-pongue, em comparação ao Globo negro padrão - outono e primavera.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; P. 1-14. 2011.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: FIBGE, 1979.

OLGYAY, V. **Design with Climate.** Princeton University Press, New Jersey. 1973.

OZISIK, M. N. **Transferência de calor: um texto básico.** Ed. Guanabara Koogan S. A. Rio de Janeiro-RJ, 1990.

PIMENTEL, U. H. O. **Utilização de Resíduos da Indústria de Calçados em Blocos de Vedação com Novas Geometrias.** Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Estadual da Paraíba, 2005.

POLARI FILHO, R.S., **Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da Indústria de calçados na Construção Civil: Bloco EVA – Uma alternativa às alvenarias das construções –** Dissertação ao PPGEU. UFPB, 2005.

REIS FILHO, N. G. **Quadro da Arquitetura no Brasil.** São Paulo, Perspectiva. 1978.

ROCHA, F. M. D. **Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: bloco EVA – intertravamento e racionalização das alvenarias.** Dissertação de Mestrado, p. 107, UFPB. João Pessoa, 2008.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos Para o Desenho Urbano.** São Paulo: Projeto, 1988.

RUAS, A. C. **Avaliação de Conforto Térmico: Contribuição à aplicação prática das normas internacionais.** (Dissertação de Mestrado). Campinas, 1999.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1984.

SABBATINI, F. H. **As fissuras com origem na intervenção vedação-estrutura.** In: Seminário vedações verticais. Anais, EPUSP, São Paulo, 1998.

SILVA, E. P.; CAHINO J. E. M.; MELO A. B. **Avaliação de desempenho térmico de blocos EVA.** ENTAC, Juiz de fora. 2012.

DA SILVA, L. R. M. C. Análise técnico/financeira de paredes exteriores em panos simples. **Dissertação- Mestrado:** p.180. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa-Instituto Superior Técnico. 2007.

SOUZA, U. E. L. **Produtividade e custos dos sistemas de vedação vertical.** In: Seminário Vedações Verticais. Anais, EPUSP, p. 237-248 São Paulo, 1998.

VAN DEVENTER, E. N.; **Climatic and Other Design Data for Evaluating Heating and Cooling Requirements of Buildings.** Pretoria, National Building Research Institute, (Research Report, 300). 1971.

APÊNDICES

APÊNDICE A- RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS BLOCOS

Tabela A.1- Resistência a compressão TC e Concreto

Amostras	Res Compressão Após 28 dias (Mpa)	Amostras	Res Compressão Após 28 dias (Mpa)
TC1	3,48	Concreto1	6,5
TC2	3,26	Concreto2	6,1
TC3	1,87	Concreto3	7,7
TC4	2,06	Concreto4	6,8
TC5	2,06	Concreto5	6,3
TC6	3,25	Concreto6	8,3
Média TC	3,3	Média Concreto	6,6

Tabela A.2- Resistência a compressão com 07 e 28 dias de blocos EVA9_60% e EVA14_60%

Amostras	Res Compressão (Mpa)		Amostras	Res Compressão (Mpa)	
	7 dias	28 dias		7 dias	28 dias
EVA9_60% 1	1,05	0,82	EVA14_60% 1	0,56	1,04
EVA9_60% 2	0,82	1,28	EVA14_60% 2	0,68	0,64
EVA9_60% 3	0,96	1,1	EVA14_60% 3	1,04	1,38
EVA9_60% 4	0,85	0,92	EVA14_60% 4	1,06	1,12
EVA9_60% 5	0,87	0,88	EVA14_60% 5	0,71	1,4
EVA9_60% 6	0,64	0,98	EVA14_60% 6	1,08	0,78
Média EVA9_60%	1,0	1,2	Média EVA14_60%	1,1	1,3

Tabela A.3- Resistência a compressão com 07 e 28 dias dos blocos EVA12,5_60% e EVA12,5_80%

Amostras	Res Compressão (Mpa)		Amostras	Res Compressão (Mpa)	
	7 dias	28 dias		7 dias	28 dias
EVA12,5_60% 1	1,90	1,87	EVA12,5_80% 1	0,44	0,6
EVA12,5_60% 2	1,25	1,54	EVA12,5_80% 2	0,27	0,89
EVA12,5_60% 3	1,54	1,49	EVA12,5_80% 3	0,47	0,53
EVA12,5_60% 4	1,20	2,1	EVA12,5_80% 4	0,29	0,86
EVA12,5_60% 5	1,96	2,15	EVA12,5_80% 5	0,28	0,79
EVA12,5_60% 6	1,80	1,92	EVA12,5_80% 6	0,34	0,95
Média EVA12,5_60%	1,9	2,1	Média EVA12,5_80%	0,5	0,9

APÊNDICE B- DADOS CALIBRAÇÃO DOS TERMOPARES

A calibração dos 8 (oito) termopares realizou-se com eles conectados ao sistema de aquisição de dados (MX840A da HBM), que foi utilizado também na coleta de dados durante os experimentos; como referência para a calibração dos termopares foi utilizado um termômetro digital do tipo espeto, da marca Incoterm; então, o conjunto de termopares e o termômetro de referência foram colocados em uma garrafa térmica, com água aquecida a 70°C (Figura B.1).



Figura B.1- Aparato utilizado para a calibração dos termopares

Em seguida, foram coletados os dados a cada 30 minutos em um período de 31 horas, o suficiente para que a água no interior da garrafa térmica atingisse uma temperatura próxima a 30°C (Tabela B.1).

Tabela B.1- Temperaturas registradas nos termopares e no termômetro

Horário	T 1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Termômetro
07:15	69,5	69,6	69,5	69,7	69,7	69,5	69,6	69,7	70,0
07:45	67,9	68,2	68,0	68,3	68,1	68,0	68,1	68,1	68,0
08:15	66,2	66,5	66,4	66,7	66,4	66,4	66,5	66,5	67,0
08:45	64,7	64,9	64,8	65,1	64,8	64,9	65,0	65,0	65,0
09:15	63,2	63,5	63,4	63,6	63,4	63,4	63,4	63,6	64,0
09:45	61,9	62,0	62,0	62,2	62,0	62,1	62,2	62,2	61,0
10:15	60,6	60,8	60,7	60,9	60,7	60,8	60,8	60,9	61,0
10:45	59,4	59,6	59,5	59,8	59,5	59,6	59,7	59,7	60,0
11:15	58,3	58,4	58,4	58,6	58,4	58,5	58,5	58,5	58,0
11:45	57,1	57,4	57,2	57,4	57,3	57,3	57,4	57,4	57,0

12:15	56,1	56,3	56,2	56,5	56,2	56,3	56,3	56,4	56,0
12:45	55,1	55,3	55,2	55,4	55,2	55,3	55,3	55,3	55,0
13:15	54,0	54,3	54,2	54,5	54,2	54,3	54,3	54,4	54,0
13:45	53,1	53,3	53,3	53,5	53,3	53,3	53,4	53,4	53,0
14:15	52,3	52,4	52,3	52,6	52,3	52,4	52,5	52,6	52,0
14:45	51,4	51,6	51,5	51,7	51,5	51,6	51,6	51,7	51,0
15:15	50,5	50,7	50,6	50,9	50,6	50,8	50,8	50,8	51,0
15:45	49,7	50,0	49,8	50,0	49,9	49,9	50,0	50,1	49,0
16:15	49,0	49,2	49,0	49,3	49,0	49,1	49,2	49,3	49,0
16:45	48,2	48,4	48,3	48,6	48,3	48,4	48,4	48,5	48,0
17:30	47,5	47,6	47,6	47,8	47,6	47,7	47,8	47,8	47,0
17:45	46,8	47,0	46,9	47,1	46,9	47,0	47,0	47,1	47,0
18:15	46,0	46,3	46,2	46,4	46,2	46,3	46,3	46,3	46,0
18:45	45,4	45,6	45,6	45,8	45,5	45,6	45,6	45,7	45,0
19:15	44,8	44,9	44,9	45,0	44,9	44,9	45,0	45,1	44,0
07:15	33,6	33,8	33,7	33,8	33,6	33,8	33,9	33,9	33,0
07:45	33,3	33,5	33,3	33,5	33,3	33,4	33,5	33,6	33,0
08:15	32,9	33,1	33,0	33,2	33,0	33,1	33,2	33,3	32,0
08:45	32,6	32,9	32,7	32,9	32,7	32,8	32,9	32,9	32,0
09:17	32,3	32,5	32,4	32,6	32,4	32,5	32,6	32,6	32,0
09:48	32,0	32,2	32,1	32,3	32,1	32,2	32,3	32,4	32,0
10:25	31,7	31,9	31,8	32,0	31,8	31,9	32,0	32,0	31,0
10:51	31,5	31,7	31,5	31,7	31,5	31,6	31,7	31,8	31,0
11:15	31,3	31,5	31,4	31,5	31,4	31,5	31,6	31,6	31,0
11:45	31,1	31,3	31,1	31,4	31,1	31,2	31,4	31,4	31,0
12:17	30,8	31,1	31,0	31,1	30,9	31,0	31,1	31,2	30,0
Média Temperatura ambiente									24°C
Média Umidade relativa									55%

Este procedimento de calibração teve como objetivo comparar a variação da temperatura da água a partir das leituras registradas pelos termopares e pelo termômetro de referência. Outro objetivo da calibração foi identificar o quanto as medições efetuadas por cada termopar distinguem-se entre si. Na Figura B.2, é possível observar a curva de resfriamento traçadas a partir das leituras registradas nos oito termopares e no termômetro de referência. Através do desvio-padrão é possível concluir que os termopares e o termômetro de referência registraram praticamente os mesmos valores.

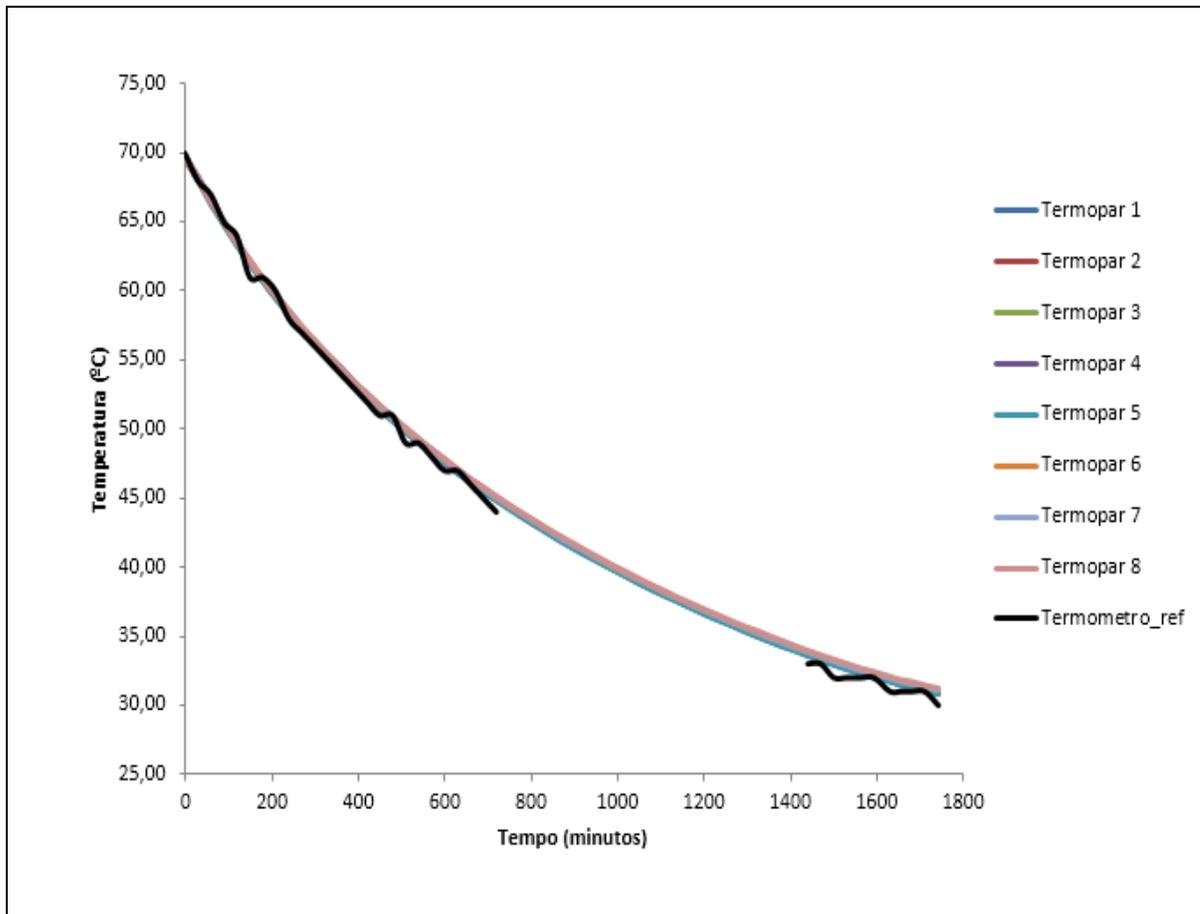


Figura B.2- Curva de resfriamento Termopares x Termômetro de Referência

Após a coleta das temperaturas foi feita a análise estatística, considerando o valor do termômetro de referência e dos oito termopares. Na tabela B.2 podemos observar quais foram os desvios-padrão calculados a cada 2 horas em um período de 31 horas. Tendo em vista que o sistema de aquisição de dados utilizado fornece diretamente os valores de temperaturas em graus Celsius e que os desvios-padrão encontrados não foram significativos, a calibração dos termopares teve a função de verificar a estabilidade dos sensores construídos.

Tabela B.2 Análise estatística da calibração dos termopares

Medições	Média (°C)	Desvio Padrão (°C)	T Máx(°C)	T Min(°C)	Intervalo (°C)
1	69,61	0,09	69,72	69,46	0,25
2	63,43	0,11	63,58	63,19	0,39
3	58,44	0,11	58,62	58,26	0,36
4	54,27	0,13	54,50	54,05	0,46
5	50,72	0,11	50,92	50,54	0,37
6	47,66	0,12	47,83	47,49	0,35
7	44,95	0,09	45,10	44,81	0,30
8	42,59	0,11	42,72	42,41	0,31
9	40,45	0,10	40,59	40,29	0,30
10	38,52	0,11	38,65	38,32	0,32
11	36,77	0,11	36,90	36,61	0,29
12	35,19	0,11	35,36	35,01	0,35
13	33,76	0,11	33,89	33,61	0,28
14	32,47	0,10	32,61	32,30	0,31
15	31,49	0,10	31,64	31,34	0,30
16	31,03	0,12	31,16	30,82	0,34

APÊNDICE C- MEMORIAL DE CÁLCULO DE DESEMPENHO

PAREDE SIMPLES TC

a) Resistência Térmica do tijolo

Seção 1:

$$A_1 = 0,01 \times 0,19 = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{e_{cer}}{\lambda_{cer}} = \frac{0,09}{0,90} = 0,01 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Seção 2:

$$A_2 = 0,035 \times 0,19 = 0,00665 \text{ m}^2$$

$$R_2 = \frac{e_{cer}}{\lambda_{cer}} + R_{ar} + \frac{e_{cer}}{\lambda_{cer}} + R_{ar} + \frac{e_{cer}}{\lambda_{cer}} = \frac{0,007}{0,90} + 0,16 + \frac{0,006}{1,90} + 0,16 + \frac{0,007}{0,90}$$

$$R_2 = 0,0078 + 0,16 + 0,0067 + 0,16 + 0,0078$$

$$R_B = 0,3423 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Portanto, a resistência do tijolo será:

$$R_t = \frac{\frac{5A_1 + 4A_2}{R_1 + R_2}}{\frac{5(0,0019) + 4(0,00665)}{0,01 + 0,3423}}$$

$$R_t = \frac{0,0361}{0,095 + 0,0194} = \frac{0,0361}{0,1144} = 0,3155 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

b) Resistência Térmica da parede

Seção A:

$$A_A = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,20 = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} + \frac{e_{arg}}{\lambda_{arg}} + \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} = \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,01}{1,15} = 0,0956 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Seção B:

$$A_B = 0,19 \times 0,19 = 0,0361 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} + R_{tijolo} + \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} = \frac{0,01}{1,75} + 0,3155 + \frac{0,01}{1,75}$$

$$R_B = 0,00869 + 0,3155$$

$$R_B = 0,3329 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0039 + 0,0361}{\frac{0,0039}{0,0956} + \frac{0,0361}{0,3329}}$$

$$R_t = \frac{0,04}{0,0408 + 0,1084} = \frac{0,04}{0,1492} = 0,2680 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

c) Resistência Térmica Total

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,2680 + 0,04 = 0,438 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

d) Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,2759} = 2,28 \frac{W}{(m^2 \cdot k)}$$

e) Capacidade Térmica da Parede

Seção A:

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,20 = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{arg} + (e.c.\rho)_{reb} = 0,11 \times 1,0 \times 2000 = 220 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

Seção B:

$$A_b = 0,01 \times 0,19 = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{cer} + (e.c.\rho)_{reb} =$$

$$C_{Tb} = (0,01 \times 1,0 \times 2000) + (0,09 \times 0,92 \times 1600) + (0,01 \times 1,00 \times 2000) =$$

$$C_{Tb} = 20 + 132,44 + 20 = 172,48 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

Seção C:

$$A_c = 0,035 \times 0,19 = 0,0067 \text{ m}^2$$

$$C_{Tc} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{cer} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{cer} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{cer} + (e.c.\rho)_{reb} =$$

$$C_{Tc} = (0,02 \times 1,0 \times 2000) + (0,02 \times 0,92 \times 1600)$$

$$C_{Tc} = 20 + 29,44 + 20 = 69,44 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{Aa + 5Ab + 4Ac}{\frac{Aa}{C_{Ta}} + \frac{5Ab}{C_{Tb}} + \frac{4Ac}{C_{Tc}}} = \frac{0,0039 + 5(0,0019) + 4(0,0067)}{\frac{0,0039}{220} + \frac{5(0,0095)}{172,48} + \frac{4(0,0067)}{69,44}}$$

$$C_T = \frac{0,0402}{0,000018 + 0,000055 + 0,00038} = \frac{0,0402}{0,000453} = 88,74 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

f) Atraso Térmico

$$R_t = 0,2628 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

$$B_0 = C_T - C_{Text} = 88,16 - (0,01 \times 1 \times 2000)$$

$$B_0 = 68,74$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{68,74}{0,2628} = 261,56$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(1,15 \times 1,00 \times 2000)_{ext}}{0,01369} \right) \cdot \left(0,00869 - \frac{0,2628 - 0,00869}{10} \right)$$

$B_2 = 0,205 \times 8752 \times (-0,01671)$ Valor negativo, B_2 deve ser desconsiderado.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,2628 \times \sqrt{59,11}$$

$$\varphi = 2,8 \text{ horas}$$

g) Fator Solar

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

$$FS_o = 4 \cdot 2,28 \cdot 0,3$$

$$FS_o = 2,74 \%$$

PAREDE SIMPLES CONCRETO

a) Resistência Térmica do bloco

Seção A:

$$A_A = 0,025 \times 0,19 = 0,0047 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{\epsilon_{concreto}}{\lambda_{concreto}} = \frac{0,09}{1,75} = 0,0514 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Seção B:

$$A_B = 0,155 \times 0,19 = 0,02945 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{\epsilon_{concreto}}{\lambda_{concreto}} + R_{ar} + \frac{\epsilon_{concreto}}{\lambda_{concreto}} = \frac{0,025}{1,75} + 0,16 + \frac{0,025}{1,75}$$

$$R_B = 0,0143 + 0,16 + 0,00143$$

$$R_B = 0,1886 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{3A_a + 2A_b}{\frac{3A_a}{R_a} + \frac{2A_b}{R_b}} = \frac{3(0,0047) + 2(0,02945)}{\frac{3(0,0047)}{0,0514} + \frac{2(0,02945)}{0,1886}}$$

$$R_t = \frac{0,073}{0,27343 + 0,3123} = \frac{0,073}{0,5866} = 0,1244 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

b) Resistência Térmica da parede

Seção A:

$$A_A = 0,01 \times 0,39 + 0,01 \times 0,20 = 0,0059 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{\epsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} + \frac{\epsilon_{arg}}{\lambda_{arg}} + \frac{\epsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} = \frac{0,01}{1,75} + \frac{0,09}{1,75} + \frac{0,01}{1,75} = 0,0956 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Seção B:

$$A_B = 0,39 \times 0,19 = 0,0741 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{\epsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} + R_{bloco\ conc} + \frac{\epsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} = \frac{0,01}{1,75} + 0,1244 + \frac{0,01}{1,75}$$

$$R_B = 0,0087 + 0,1244 + 0,0087$$

$$R_B = 0,1418 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0059 + 0,0741}{\frac{0,0059}{0,0956} + \frac{0,0741}{0,1418}}$$

$$R_t = \frac{0,08}{0,617 + 0,5225} = \frac{0,08}{0,5842} = 0,1369 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

c) Resistência Térmica Total

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,1369 + 0,04 = 0,3069 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

d) Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,2759} = 3,26 \frac{W}{(m^2 \cdot k)}$$

e) Capacidade Térmica da Parede

Seção A:

$$A_a = 0,01 \times 0,39 + 0,01 \times 0,20 = 0,0059 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} = 0,11 \times 1,0 \times 2000 = 220 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

Seção B:

$$A_b = 0,025 \times 0,19 = 0,00475 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{conc} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} =$$

$$C_{Tb} = (0,01 \times 1,0 \times 2000) + (0,09 \times 1,0 \times 2400) + (0,01 \times 1,00 \times 2000) =$$

$$C_{Tb} = 20 + 216 + 20 = 256 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

Seção C:

$$A_c = 0,155 \times 0,39 = 0,06045 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{conc} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{conc} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} =$$

$$C_{Tb} = (0,02 \times 1,0 \times 2000) + (0,05 \times 1,0 \times 2400)$$

$$C_{Tb} = 20 + 120 + 20 = 160 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{A_a + 3A_b + 2A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{3A_b}{C_{Tb}} + \frac{2A_c}{C_{Tc}}} = \frac{0,0059 + 3(0,00475) + 2(0,06045)}{\frac{0,0059}{220} + \frac{0,01425}{256} + \frac{1,209}{160}}$$

$$C_T = \frac{1,5059}{0,000027 + 0,0000556 + 0,00756} = \frac{1,5059}{0,00764} = 197,11 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

f) Atraso Térmico

$$R_t = 0,1369 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

$$B_0 = C_T - C_{Text} = 197,11 - (0,01 \times 1 \times 2000)$$

$$B_0 = 177,11$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{177,11}{0,1369} = 292,4$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(1,15 \times 1,00 \times 2000)_{ext}}{0,0,1369} \right) \cdot \left(0,0087 - \frac{0,1369 - 0,0087}{10} \right)$$

$B_2 = 0,205 \times 16800,6 \times (-0,0095)$ Valor negativo, B_2 deve ser desconsiderado.

$$\Phi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\Phi = 1,382 \times 0,1369 \times \sqrt{292,4}$$

$$\Phi = 3,2 \text{ horas}$$

g) Fator Solar

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

$$FS_o = 4 \cdot 3,26 \cdot 0,3$$

$$FS_o = 3,9 \%$$

PAREDE SIMPLES EVA9_60%

a) Resistência Térmica do bloco

Seção A:

$$A_A = 0,025 \times 0,19 = 0,0047 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{EVA9}}{\lambda_{EVA9}} = \frac{0,09}{0,66} = 0,1364 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

Seção B:

$$A_B = 0,10 \times 0,17 = 0,017 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{e_{EVA9}}{\lambda_{EVA9}} + R_{ar} + \frac{e_{EVA9}}{\lambda_{EVA9}} = \frac{0,02}{0,66} + 0,16 + \frac{0,02}{0,66}$$

$$R_B = 0,0303 + 0,16 + 0,0303$$

$$R_B = 0,2206 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{4A_a + 3A_b}{R_a + R_b} = \frac{4(0,0047) + 3(0,017)}{0,1364 + 0,2206}$$

$$R_t = \frac{0,0188}{0,1378 + 0,2311} = \frac{0,0698}{0,3689} = 0,1892 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

b) Resistência Térmica da parede

Seção A:

$$A_A = 0,01 \times 0,39 + 0,01 \times 0,20 = 0,0059 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{\epsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} + \frac{\epsilon_{arg}}{\lambda_{arg}} + \frac{\epsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} = \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,01}{1,15} = 0,0956 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Seção B:

$$A_B = 0,39 \times 0,19 = 0,0741 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{\epsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} + R_{\text{bloco eva9}} + \frac{\epsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} = \frac{0,01}{1,15} + 0,1892 + \frac{0,01}{1,15}$$

$$R_B = 0,0087 + 0,1892 + 0,0087$$

$$R_B = 0,2066 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{R_a + R_b} = \frac{0,0059 + 0,0741}{0,0956 + 0,2066}$$

$$R_t = \frac{0,08}{0,617 + 0,3587} = \frac{0,08}{0,4204} = 0,1903 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

c) Resistência Térmica Total

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,1369 + 0,04 = 0,3603 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

d) Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,2759} = 2,77 \frac{W}{(m^2 \cdot k)}$$

e) Capacidade Térmica da Parede

Seção A:

$$A_a = 0,01 \times 0,39 + 0,01 \times 0,20 = 0,0059 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{arg} + (e.c.\rho)_{reb} = 0,11 \times 1,0 \times 2000 = 220 \frac{kJ}{(m^2.K)}$$

Seção B:

$$A_b = 0,025 \times 0,39 = 0,0097 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{eva9} + (e.c.\rho)_{reb} =$$

$$C_{Tb} = (0,01 \times 1,0 \times 2000) + (0,09 \times 1,0 \times 1373) + (0,01 \times 1,00 \times 2000) =$$

$$C_{Tb} = 20 + 123,57 + 20 = 163,57 \frac{kJ}{(m^2.K)}$$

Seção C:

$$A_c = 0,10 \times 0,17 = 0,017 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{eva9} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{eva9} + (e.c.\rho)_{reb} =$$

$$C_{Tb} = (0,02 \times 1,0 \times 2000) + (0,04 \times 1,0 \times 1373)$$

$$C_{Tb} = 20 + 54,92 + 20 = 94,92 \frac{kJ}{(m^2.K)}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{Aa + 4Ab + 3Ac}{C_{Ta} + C_{Tb} + C_{Tc}} = \frac{0,0059 + 4(0,0097) + 3(0,017)}{\frac{0,0059}{220} + \frac{0,0888}{163,57} + \frac{0,051}{94,92}}$$

$$C_T = \frac{0,0957}{0,0000268 + 0,0002372 + 0,0005372} = \frac{0,0957}{0,0008012} = 119,44 \frac{kJ}{(m^2.K)}$$

f) Atraso Térmico

$$R_t = 0,1903 \frac{(m^2.k)}{W}$$

$$B_0 = C_T - C_{Text} = 119,44 - (0,01 \times 1 \times 2000)$$

$$B_0 = 99,4$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{199,4}{0,1903} = 118,04$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda.p.c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(1,15 \times 1,00 \times 2000)_{ext}}{0,1903} \right) \cdot \left(0,00869 - \frac{0,1903 - 0,00869}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \times 12086,2 \times (-0,00947) \text{ Valor negativo, } B_2 \text{ deve ser desconsiderado.}$$

$$\Phi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\Phi = 1,382 \times 0,1369 \times \sqrt{118,04}$$

$$\Phi = 1,382 \times 0,1369 \times 10,86$$

$$\Phi = 2,9 \text{ horas}$$

g) Fator Solar

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

$$FS_o = 4 \cdot 2,7 \cdot 0,3$$

$$FS_o = 3,3 \%$$

PAREDE SIMPLES EVA14_60%

a) Resistência Térmica do bloco

Seção A:

$$A_A = 0,025 \times 0,19 = 0,0047 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{EVA14}}{\lambda_{EVA14}} = \frac{0,14}{0,66} = 0,2121 \frac{\text{(m}^2 \cdot \text{k)}}{\text{W}}$$

Seção B:

$$A_B = 0,09 \times 0,19 = 0,0171 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{e_{EVA14}}{\lambda_{EVA14}} + R_{ar} + \frac{e_{EVA14}}{\lambda_{EVA14}} = \frac{0,025}{0,66} + 0,16 + \frac{0,025}{0,66}$$

$$R_B = 0,0379 + 0,16 + 0,0379$$

$$R_B = 0,2357 \frac{\text{(m}^2 \cdot \text{k)}}{\text{W}}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{\frac{4A_A + 3A_B}{4A_A + 3A_B}}{\frac{4A_A + 3A_B}{R_A + R_B}} = \frac{4(0,0047) + 3(0,0171)}{\frac{4(0,0047)}{0,2121} + \frac{3(0,0171)}{0,2357}}$$

$$R_t = \frac{0,0188 + 0,0513}{0,0886 + 0,276} = \frac{0,0701}{0,3062} = 0,2289 \frac{\text{(m}^2 \cdot \text{k)}}{\text{W}}$$

b) Resistência Térmica da parede

Seção A:

$$A_A = 0,01 \times 0,39 + 0,01 \times 0,20 = 0,0059 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{\epsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} + \frac{\epsilon_{arg}}{\lambda_{arg}} + \frac{\epsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} = \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,19}{1,15} + \frac{0,01}{1,15} = 0,1391 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Seção B:

$$A_B = 0,19 \times 0,39 = 0,0741 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{\epsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} + R_{\text{bloco eva14}} + \frac{\epsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} = \frac{0,01}{1,15} + 0,2289 + \frac{0,01}{1,15}$$

$$R_B = 0,0087 + 0,2289 + 0,0087$$

$$R_B = 0,2375 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0059 + 0,0741}{\frac{0,0059}{0,1391} + \frac{0,0741}{0,2375}}$$

$$R_t = \frac{0,08}{0,0424 + 0,312} = \frac{0,08}{0,3544} = 0,2257 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

c) Resistência Térmica Total

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,2257 + 0,04 = 0,3957 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

d) Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,3957} = 2,53 \frac{W}{(m^2 \cdot k)}$$

e) Capacidade Térmica da Parede

Seção A:

$$A_a = 0,01 \times 0,39 + 0,01 \times 0,20 = 0,0059 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} = 0,16 \times 1,0 \times 2000 = 320 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

Seção B:

$$A_b = 0,025 \times 0,39 = 0,0097 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{eva9} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} =$$

$$C_{Tb} = (0,01 \times 1,0 \times 2000) + (0,14 \times 1,0 \times 1373) + (0,01 \times 1,00 \times 2000) =$$

$$C_{Tb} = 20 + 192,22 + 20 = 232,2 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

Seção C:

$$A_c = 0,10 \times 0,17 = 0,017 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{eva9} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{eva9} + (e.c.\rho)_{reb} =$$

$$C_{Tb} = (0,02 \times 1,0 \times 2000) + (0,05 \times 1,0 \times 1373)$$

$$C_{Tb} = 40 + 68,65 = 108,65 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{Aa + 4Ab + 3Ac}{\frac{Aa}{C_{Ta}} + \frac{4Ab}{C_{Tb}} + \frac{3Ac}{C_{Tc}}} = \frac{0,0059 + 4(0,0097) + 3(0,017)}{\frac{0,0059}{820} + \frac{0,0388}{282,2} + \frac{0,051}{108,65}}$$

$$C_T = \frac{0,0957}{0,00002 + 0,00017 + 0,00047} = \frac{0,0957}{0,000659} = 145,22 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

f) Atraso Térmico

$$R_t = 0,2257 \frac{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}{\text{W}}$$

$$B_0 = C_T - C_{T\text{ext}} = 145,2 - (0,01 \times 1 \times 2000)$$

$$B_0 = 125,2$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{125,2}{0,2257} = 0,226 \cdot 554,72 = 125,4$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(1,15 \times 1,00 \times 2000)_{\text{ext}}}{0,2257} \right) \cdot \left(0,00869 - \frac{0,2257 - 0,00869}{10} \right)$$

$B_2 = 0,205 \times 12086,2 \times (-0,00947)$ Valor negativo, B_2 deve ser desconsiderado.

$$\Phi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\Phi = 1,382 \times 0,2257 \times \sqrt{125,4}$$

$$\Phi = 1,382 \times 0,2257 \times 11,198$$

$$\Phi = 3,5 \text{ horas}$$

g) Fator Solar

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

$$FS_o = 4 \cdot 2,53 \cdot 0,3$$

$$FS_o = 3,03 \%$$

PAREDE SIMPLES EVA12,5_60%

a) Resistência Térmica do bloco

Seção A:

$$A_A = 0,05 \times 0,25 = 0,00125 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{EVA12,5}}{\lambda_{EVA12,5}} = \frac{0,125}{0,66} = 0,1894 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

Seção B:

$$A_B = 0,055 \times 0,22 = 0,0121 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{e_{EVA12,5}}{\lambda_{EVA12,5}} + R_{ar} + \frac{e_{EVA12,5}}{\lambda_{EVA12,5}} = \frac{0,035}{0,66} + 0,16 + \frac{0,035}{0,66}$$

$$R_B = 0,0530 + 0,16 + 0,0530$$

$$R_B = 0,2660 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{3A_a + 2A_b}{\frac{e_{Aa}}{R_a} + \frac{e_{Ab}}{R_b}} = \frac{0,00375 + 0,0242}{\frac{0,00375}{0,1894} + \frac{0,0242}{0,2660}}$$

$$R_t = \frac{0,0617}{0,1980 + 0,0909} = \frac{0,0617}{0,2889} = 0,2137 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

b) Resistência Térmica da parede

Seção A:

$$A_A = 0,01 \times 0,25 + 0,01 \times 0,26 = 0,0051 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} + \frac{e_{arg}}{\lambda_{arg}} + \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} = \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,125}{1,15} + \frac{0,01}{1,15} = 0,1260 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

Seção B:

$$A_B = 0,25 \times 0,25 = 0,0625 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} + R_{bloco\ eva12,5_60\%} + \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} = \frac{0,01}{1,15} + 0,2137 + \frac{0,01}{1,15}$$

$$R_B = 0,0087 + 0,2137 + 0,0087$$

$$R_B = 0,2311 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0051 + 0,0625}{\frac{0,0051}{0,1260} + \frac{0,0625}{0,2811}}$$

$$R_t = \frac{0,0676}{0,0405 + 0,2704} = \frac{0,0676}{0,3109} = 0,2174 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

c) Resistência Térmica Total

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,2174 + 0,04 = 0,3874 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

d) Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,2174} = 2,58 \frac{W}{(m^2 \cdot K)}$$

e) Capacidade Térmica da Parede

Seção A:

$$A_a = 0,01 \times 0,25 + 0,01 \times 0,26 = 0,0051 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{arg} + (e.c.\rho)_{reb} = 0,145 \times 1,0 \times 2000 = 290 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

Seção B:

$$A_b = 0,035 \times 0,25 = 0,00875 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{eva12,5} + (e.c.\rho)_{reb} =$$

$$C_{Tb} = (0,01 \times 1,0 \times 2000) + (0,125 \times 1,0 \times 1373) + (0,01 \times 1,00 \times 2000) =$$

$$C_{Tb} = 20 + 171,6 + 20 = 211,63 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

Seção C:

$$A_c = 0,05 \times 0,22 = 0,011 \text{ m}^2$$

$$C_{Tc} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{eva12,5} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{eva12,5} + (e.c.\rho)_{reb} =$$

$$C_{Tc} = (0,02 \times 1,0 \times 2000) + (0,07 \times 1,0 \times 1373) =$$

$$C_{Tc} = 40 + 96,11 = 136,11 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{A_a + 3A_b + 2A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{3A_b}{C_{Tb}} + \frac{2A_c}{C_{Tc}}} = \frac{0,0051 + 3(0,00875) + 2(0,011)}{\frac{0,0051}{290} + \frac{0,02625}{211,63} + \frac{0,022}{136,11}}$$

$$C_T = \frac{0,05335}{0,0000175 + 0,000124 + 0,0001616} = \frac{0,05335}{0,0003031} = 176,6 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

f) Atraso Térmico

$$R_t = 0,2174 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} = 176,6 - (0,01 \times 1 \times 2000)$$

$$B_0 = 156,6$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{156,6}{0,2174} = 0,226 \cdot 822,9 = 185,98$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(1,15 \times 1,00 \times 2000)_{ext}}{0,2174} \right) \cdot \left(0,00869 - \frac{0,2174 - 0,0087}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \times 10579,6 \times (-0,01217) \text{ Valor negativo, } B_2 \text{ deve ser desconsiderado.}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,2274 \times \sqrt{185,98}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,2277 \times 13,64$$

$$\varphi = 4,1 \text{ horas}$$

g) Fator Solar

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

$$FS_o = 4 \cdot 2,58 \cdot 0,3$$

$$FS_o = 3 \%$$

PAREDE SIMPLES EVA12,5_80%**a) Resistência Térmica do bloco**Seção A:

$$A_A = 0,05 \times 0,25 = 0,00125 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{EVA80\%}}{\lambda_{EVA80\%}} = \frac{0,125}{0,56} = 0,2155 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Seção B:

$$A_B = 0,055 \times 0,22 = 0,0121 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{\epsilon_{\text{evaseo}}}{\lambda_{\text{evaseo}}} + R_{\text{ar}} + \frac{\epsilon_{\text{evaseo}}}{\lambda_{\text{evaseo}}} = \frac{0,035}{0,58} + 0,16 + \frac{0,035}{0,58}$$

$$R_B = 0,0603 + 0,16 + 0,0603$$

$$R_B = 0,2807 \frac{(m^2.k)}{W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{\frac{3Aa + 2Ab}{Ra + Rb}}{\frac{0,00375 + 0,0242}{0,2155 + 0,2807}}$$

$$R_t = \frac{0,0617}{0,1740 + 0,0862} = \frac{0,0617}{0,2602} = 0,2371 \frac{(m^2.k)}{W}$$

b) Resistência Térmica da parede

Seção A:

$$A_A = 0,01 \times 0,25 + 0,01 \times 0,26 = 0,0051 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{\epsilon_{\text{reb}}}{\lambda_{\text{reb}}} + \frac{\epsilon_{\text{arg}}}{\lambda_{\text{arg}}} + \frac{\epsilon_{\text{reb}}}{\lambda_{\text{reb}}} = \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,125}{1,15} + \frac{0,01}{1,15} = 0,1260 \frac{(m^2.k)}{W}$$

Seção B:

$$A_B = 0,25 \times 0,25 = 0,0625 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{\epsilon_{\text{reb}}}{\lambda_{\text{reb}}} + R_{\text{bloco eva12,5-80\%}} + \frac{\epsilon_{\text{reb}}}{\lambda_{\text{reb}}} = \frac{0,01}{1,15} + 0,2371 + \frac{0,01}{1,15}$$

$$R_B = 0,0087 + 0,2371 + 0,0087$$

$$R_B = 0,2545 \frac{(m^2.k)}{W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{\frac{Aa + Ab}{Ra + Rb}}{\frac{0,0051 + 0,0625}{0,1260 + 0,2545}}$$

$$R_t = \frac{0,0676}{0,0405 + 0,2456} = \frac{0,0676}{0,2861} = 0,2363 \frac{(m^2.k)}{W}$$

c) Resistência Térmica Total

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,2363 + 0,04 = 0,4063 \frac{(m^2.k)}{W}$$

d) Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4063} = 2,46 \frac{W}{(m^2.k)}$$

e) Capacidade Térmica da Parede

Seção A:

$$A_a = 0,01 \times 0,25 + 0,01 \times 0,26 = 0,0051 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{arg} + (e.c.\rho)_{reb} = 0,145 \times 1,0 \times 2000 = 290 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Seção B:

$$A_b = 0,035 \times 0,25 = 0,00875 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{eva12,5_80\%} + (e.c.\rho)_{reb} =$$

$$C_{Tb} = (0,01 \times 1,0 \times 2000) + (0,125 \times 1,0 \times 1133) + (0,01 \times 1,00 \times 2000) =$$

$$C_{Tb} = 20 + 141,6 + 20 = 181,63 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Seção C:

$$A_c = 0,05 \times 0,22 = 0,011 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{eva12,5_80\%} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{eva12,5_80\%} + (e.c.\rho)_{reb} =$$

$$C_{Tb} = (0,02 \times 1,0 \times 2000) + (0,07 \times 1,0 \times 1133)$$

$$C_{Tb} = 40 + 79,31 = 119,31 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{A_a + 3A_b + 2A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{3A_b}{C_{Tb}} + \frac{2A_c}{C_{Tc}}} = \frac{0,0051 + 3(0,00875) + 2(0,011)}{\frac{0,0051}{290} + \frac{0,02625}{181,63} + \frac{0,022}{119,31}}$$

$$C_T = \frac{0,05335}{0,0000175 + 0,0001445 + 0,0001843} = \frac{0,05335}{0,0003463} = 154,06 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

f) Atraso Térmico

$$R_t = 0,2363 \frac{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}{\text{W}}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} = 154,06 - (0,01 \times 1 \times 2000)$$

$$B_0 = 134,06$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{134,06}{0,2363} = 0,226 \cdot 567,3 = 128,2$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(1,15 \times 1,00 \times 2000)_{ext}}{0,2363} \right) \cdot \left(0,00869 - \frac{0,2363 - 0,0087}{10} \right)$$

$B_2 = 0,205 \times 9733,4 \times (-0,01415)$ Valor negativo, B_2 deve ser desconsiderado.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,2363 \times \sqrt{128,2}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,3266 \times 11,3$$

$$\varphi = 3,7 \text{ horas}$$

g) Fator Solar

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

$$FS_o = 4 \cdot 2,46 \cdot 0,3$$

$$FS_o = 2,95 \%$$

PAREDE DUPLA TC+ EVA9_60%

a) Resistência Térmica da parede

$$R_T = R_{t \text{ parede TC}} + R_{ar} + R_{t \text{ parede EVA9_60\%}}$$

$R_{t \text{ parede TC}}$ (Sem reboco na face interna)

Seção A:

$$A_A = 0,0039$$

$$R_A = \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} + \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} = \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} = \frac{0,09}{1,15} = 0,0869 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Seção B:

$$A_B = 0,0361 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} + R_{tijolo} = \frac{0,01}{1,15} + 0,3155$$

$$R_B = 0,00869 + 0,3155$$

$$R_B = 0,32419 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Portanto, a resistência da parede Tc sem reboco em uma face interna será:

$$R_t = \frac{Aa + Ab}{\frac{Aa}{Ra} + \frac{Ab}{Rb}} = \frac{0,0039 + 0,0361}{\frac{0,0039}{0,0869} + \frac{0,0361}{0,82419}}$$

$$R_t = \frac{0,04}{0,04488 + 0,11135} = \frac{0,04}{0,15838} = 0,2525 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

R_tEVA9_60% (Sem reboco na face interna)

Seção A:

$$A_A = 0,0059 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} + \frac{e_{arg}}{\lambda_{arg}} = \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,10}{1,15} = 0,0869 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Seção B:

$$A_B = 0,0741 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{e_{reb}}{\lambda_{reb}} + R_{\text{bloco eva9_60\%}} = \frac{0,01}{1,15} + 0,1892$$

$$R_B = 0,1979 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{Aa + Ab}{\frac{Aa}{Ra} + \frac{Ab}{Rb}} = \frac{0,0059 + 0,0741}{\frac{0,0059}{0,0869} + \frac{0,0741}{0,1979}}$$

$$R_t = \frac{0,08}{0,0679 + 0,3744} = \frac{0,08}{0,4423} = 0,1809 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

R_T = R_t parede TC + R_{ar} + R_t parede EVA9_60%

$$R_T = 0,2525 + 0,16 + 0,1809$$

$$R_T = 0,5934 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

b) Resistência Térmica Total

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,5934 + 0,04 = 0,7634 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

d) Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,7634} = 1,31 \frac{W}{(m^2 \cdot k)}$$

e) Capacidade Térmica da Parede

Ct_{parede TC (Sem reboco na face interna)}Seção A:

$$A_a = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{arg} = 0,01 \times 1,0 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600$$

$$C_{Ta} = 200 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Seção B:

$$A_b = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{cerâmica} =$$

$$C_{Tb} = (0,01 \times 1,0 \times 2000) + (0,09 \times 0,92 \times 1600)$$

$$C_{Tb} = 20 + 132,48 = 152,48 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Seção C:

$$A_c = 0,0067 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{cerâmica} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{cerâmica} =$$

$$C_{Tb} = (0,01 \times 1,0 \times 2000) + (0,02 \times 0,92 \times 1600)$$

$$C_{Tb} = 20 + 29,44 = 49,44 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede TC sem reboco na face interna:

$$C_T = \frac{A_a + 5A_b + 4A_c}{\frac{C_{Ta}}{A_a} + \frac{5C_{Tb}}{A_b} + \frac{4C_{Tc}}{A_c}} = \frac{0,0049 + 0,0095 + 0,0268}{\frac{200}{0,0039} + \frac{0,0095}{0,0019} + \frac{0,0268}{0,0067}}$$

$$C_T = \frac{0,0402}{0,0000195 + 0,0000623 + 0,000542} = \frac{0,0402}{0,0006238} = 64,44 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Ct_{parede EVA9_60% (Sem reboco na face interna)}Seção A:

$$A_a = 0,0059 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{arg} = 0,10 \times 1,0 \times 2000$$

$$C_{Ta} = 200 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Seção B:

$$A_b = 0,0097 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{eva9_60\%} =$$

$$C_{Tb} = (0,01 \times 1,0 \times 2000) + (0,09 \times 1,0 \times 1377)$$

$$C_{Tb} = 143,57 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Seção C:

$$A_c = 0,017 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{eva9_60\%} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{eva9_60\%} =$$

$$C_{Tb} = (0,01 \times 1,0 \times 2000) + (0,04 \times 1,0 \times 1373)$$

$$C_{Tb} = 20 + 54,44 = 74,92 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede EVA9_60% sem reboco na face interna:

$$C_T = \frac{A_a + 5A_b + 4A_c}{\frac{C_{Ta}}{200} + \frac{C_{Tb}}{143,57} + \frac{C_{Tc}}{74,92}} = \frac{0,0059 + 0,00388 + 0,051}{\frac{0,0059}{200} + \frac{0,0888}{143,57} + \frac{0,051}{74,92}}$$

$$C_T = \frac{0,0957}{0,0000295 + 0,0002702 + 0,0006807} = \frac{0,0957}{0,0009804} = 97,61 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

$$C_T = C_t \text{ parede sem reboco interno} + C_t \text{ ar} + C_t \text{ parede EVA9_60\%}$$

$$C_T = 64,44 + 97,61 =$$

$$C_T = 162,05 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

f) Atraso Térmico

$$R_t = 0,5934 \frac{(\text{m}^2 \cdot \text{k})}{\text{W}}$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} = 162,05 - (0,01 \times 1 \times 2000)$$

$$B_0 = 142,05$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{142,05}{0,5934} = 0,226 \cdot 239,38 = 54,10$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda, \rho, c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(1,15 \times 1,00 \times 2000)_{ext}}{0,5934} \right) \cdot \left(0,00869 - \frac{0,5934 - 0,00869}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \times 3875,97 \times (-0,01415) \text{ Valor negativo, } B_2 \text{ deve ser desconsiderado.}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,5934 \times \sqrt{54,1}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,5934 \times 7,35$$

$$\varphi = 6,03 \text{ horas}$$

g) Fator Solar

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

$$FS_o = 4 \cdot 1,31 \cdot 0,3$$

$$FS_o = 1,57 \%$$

PAREDE DUPLA EVA9_60% + EVA12,5_80%

a) Resistência Térmica da parede

$$R_T = R_t \text{ parede EVA9}_{60\%} \text{ sem reboco interno} + R_{ar} + R_t \text{ parede EVA12,5}_{80\%} \text{ sem reboco interno}$$

$$R_{t \text{ EVA9}_{60\%}} \text{ (Sem reboco na face interna)} = 0,1809 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

$$R_{t \text{ EVA12,5}_{80\%}} \text{ (Sem reboco na face interna)} = 0,22707 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

$$R_T = 0,1809 + 0,16 + 0,22707 = 0,56797 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

b) Resistência Térmica Total

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} =$$

$$R_T = 0,1809 + 0,16 + 0,22707 =$$

$$R_T = 0,73797 \frac{(m^2 \cdot k)}{W}$$

c) Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,73797} = 1,35 \frac{W}{(m^2 \cdot K)}$$

e) Capacidade Térmica da Parede

$$Ct_{\text{EVA9}_{60\%}} \text{ (Sem reboco na face interna)} = 97,61 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

$$Ct_{\text{EVA12,5}_{80\%}} \text{ (Sem reboco na face interna)} = 208,69 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

$$C_T = 97,61 + 208,69 = 306,3 \frac{kJ}{(m^2 \cdot K)}$$

f) Atraso Térmico

$$R_t = 0,56797 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$B_0 = C_T - C_{Text} = 306,3 - (0,01 \times 1 \times 2000)$$

$$B_0 = 286,3$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{286,3}{0,56797} = 0,226 \cdot 504,07 = 113,9$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(1,15 \times 1,00 \times 2000)_{ext}}{0,56797} \right) \cdot \left(0,00869 - \frac{0,56797 - 0,00869}{10} \right)$$

$B_2 = 0,205 \times 2839,96 \times (-0,047238)$ Valor negativo, B_2 deve ser desconsiderado.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,56797 \times \sqrt{113,9}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,56797 \times 10,67$$

$$\varphi = 8,38 \text{ horas}$$

g) Fator Solar

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

$$FS_o = 4 \cdot 1,35 \cdot 0,3$$

$$FS_o = 1,62\%$$

PAREDE DUPLA TC+ EVA12,5_80%

a) Resistência Térmica da parede

$$R_T = R_t \text{ parede TC sem reboco} + R_{ar} + R_t \text{ parede EVA12,5_80\% sem reboco}$$

$$R_t \text{ parede TC (Sem reboco na face interna)} = 0,2528 \frac{(m^2 \cdot K)}{W}$$

$$R_t \text{ EVA9_60\% (Sem reboco na face interna)} = ?$$

Seção A:

$$A_A = 0,0125\text{m}^2$$

$$R_A = \frac{\varepsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} + \frac{\varepsilon_{arg}}{\lambda_{arg}} = \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,125}{1,15} + \frac{0,10}{1,15} =$$

$$R_A = 0,00869 + 0,10869 =$$

$$R_A = 0,1174 \frac{(\text{m}^2 \cdot \text{k})}{\text{W}}$$

Seção B:

$$A_B = 0,0625 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{\varepsilon_{reb}}{\lambda_{reb}} + R_{\text{bloco eva9_60\%}} = \frac{0,01}{1,15} + 0,2371$$

$$R_B = 0,00869 + 0,2371$$

$$R_B = 0,24579 \frac{(\text{m}^2 \cdot \text{k})}{\text{W}}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a \cdot A_b}{R_a + R_b}} = \frac{0,0051 + 0,0625}{\frac{0,0051 \cdot 0,0625}{0,1174 + 0,24579}}$$

$$R_t = \frac{0,0676}{0,0434 + 0,25428} = \frac{0,0676}{0,2977} =$$

$$R_t = 0,22707 \frac{(\text{m}^2 \cdot \text{k})}{\text{W}}$$

$$R_T = R_t \text{ parede TC} + R_{ar} + R_t \text{ parede EVA9_60\%}$$

$$R_T = 0,2528 + 0,16 + 0,22707$$

$$R_T = 0,63987 \frac{(\text{m}^2 \cdot \text{k})}{\text{W}}$$

b) Resistência Térmica Total

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,63987 + 0,04 = 0,80987 \frac{(\text{m}^2 \cdot \text{k})}{\text{W}}$$

d) Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,80987} = 1,23 \frac{\text{W}}{(\text{m}^2 \cdot \text{k})}$$

e) Capacidade Térmica da Parede

$$C_{t \text{ parede TC (Sem reboco na face interna)}} = 64,44 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Ct parede EVA12,5_80% (Sem reboco na face interna)

Seção A:

$$A_a = 0,0051 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{arg} = 0,135 \times 1,0 \times 2000$$

$$C_{Ta} = 270 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Seção B:

$$A_b = 0,00875 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{eva_80\%} =$$

$$C_{Tb} = (0,01 \times 1,0 \times 2000) + (0,0125 \times 1,0 \times 1133)$$

$$C_{Tb} = 20 + 141,63 = 161,63 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Seção C:

$$A_c = 0,011 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{eva_80\%} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{eva_80\%} =$$

$$C_{Tb} = (0,01 \times 1,0 \times 2000) + (0,07 \times 0,92 \times 1133)$$

$$C_{Tb} = 20 + 79,31 = 99,31 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede EVA12,5_80% sem reboco na face interna será:

$$C_T = \frac{A_a + 3A_b + 2A_c}{\frac{C_{Ta}}{A_a} + \frac{C_{Tb}}{A_b} + \frac{C_{Tc}}{A_c}} = \frac{0,05335}{\frac{0,0051}{270} + \frac{0,002625}{161,63} + \frac{0,022}{99,31}}$$

$$C_T = \frac{0,05335}{0,0000188 + 0,0000162 + 0,0002215} = \frac{0,05335}{0,0002565} = 208,69 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

$$C_T = C_{t \text{ parede sem reboco interno}} + C_{t \text{ ar}} + C_{t \text{ parede EVA12,5_80\%}}$$

$$C_T = 64,44 + 208,69 =$$

$$C_T = 273,13 \frac{\text{kJ}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

f) Atraso Térmico

$$R_t = 0,80987 \frac{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}{\text{W}}$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{\text{ext}}} = 273,13 - (0,01 \times 1 \times 2000)$$

$$B_0 = 253,13$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{253,13}{0,80987} = 0,226 \cdot 312,56 = 70,64$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(1,15 \times 1,00 \times 2000)_{\text{ext}}}{0,80987} \right) \cdot \left(0,00869 - \frac{0,80987 - 0,00869}{10} \right)$$

$B_2 = 0,205 \times 12708 \times (-0,00869 - 0,080118)$ Valor negativo, B_2 deve ser desconsiderado.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,80987 \times \sqrt{70,64}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,80987 \times 8,404$$

$$\varphi = 9,40 \text{ horas}$$

g) Fator Solar

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

$$FS_o = 4 \cdot 1,23 \cdot 0,3$$

$$FS_o = 1,48 \%$$