

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ALÉXIA BRANDÃO RIBEIRO

**DESEMPENHO TÉRMICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS – ESTUDO TEÓRICO E  
SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2016

ALÉXIA BRANDÃO RIBEIRO

**DESEMPENHO TÉRMICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS – ESTUDO TEÓRICO E  
SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes

Co-orientadora: Prof. Dr. Ângela Maria Gozzo

CAMPO MOURÃO

2016



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### Trabalho de Conclusão de Curso

### Desempenho Térmico de Vedações Verticais: Estudo Teórico e Simulações Computacionais.

por

**Aléxia Brandão Ribeiro**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 19h do dia 14 de junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ângela Maria Gozzo**

( UTFPR )

Co-orientador

**Prof. Dr. Leandro Waidemam**

( UTFPR )

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Paula Cristina de Souza**

( UTFPR )

**Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes**

(UTFPR)

***Orientador***

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr. Marcelo Guelbert**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

Ao meu pai, Fabio.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai por todos os conselhos e principalmente por ser meu principal influenciador na minha acertada decisão de vir cursar esta universidade.

Ao meu avô que manteve todo o apoio necessário de tantas maneiras que não são nem expressáveis.

A todos os meus mestres professores aos quais participaram de minha formação acadêmica e contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho. Em especial, agradeço ao meu tutor professor Jorge que é minha inspiração como profissional.

A todos os meus amigos que correram ao meu lado por todos esses anos e que nunca sairão da minha memória e que farei ao máximo para tê-los por perto pelo resto da minha vida.

Por fim, a oportunidade de participar do grupo PET – Civil da UTFPR e do programa Ciências sem Fronteiras aos quais me proporcionaram um ganho de aprendizagem muito além da graduação para a conclusão deste trabalho.

## RESUMO

RIBEIRO, Aléxia B. (2016). **Desempenho térmico de vedações verticais: estudo teórico e simulações computacionais**. Campo Mourão, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão.

Com a crescente demanda para o bem-estar e qualidade de vida das pessoas e conseqüentemente o crescente aumento do uso de energia elétrica para climatização de ambientes torna-se imprescindível que se dê uma melhor atenção para o desempenho térmico das estruturas de fechamentos. A nova edição da norma de desempenho de edificações de 2013 traz pela primeira vez recomendações mínimas para o desempenho térmico das vedações verticais. Considerando as recentes exigências de norma de desempenho nacional torna-se importante o desenvolvimento de trabalhos científicos com o intuito de estudar os fenômenos físicos de transferência de calor, bem como o desenvolvimento de ferramentas práticas para o cálculo do desempenho térmico das edificações e seus componentes. Neste trabalho são apresentadas metodologias para a determinação do desempenho térmico de paredes. Por fim apresenta um software onde é possível combinar diferentes módulos de parede e verificar seu desempenho térmico.

**Palavras Chave:** Transmitância. Capacidade Térmica. Vedações. Alvenaria. *Wood framing*. Software.

## ABSTRACT

RIBEIRO, Aléxia B. (2016). **Cladding thermal performance: theoretical study and computer simulations**. Campo Mourão, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão.

The increasing demand for quality of life and consequently increasing of electricity consume for conditioning air, it is essential to give better attention to the cladding thermal performance. The new edition of the 2013 building performance Brazilian standard brings first minimum recommendations for the thermal performance of the vertical seals. Considering the recent national standard requirements, it is important to the development of scientific research in order to study the heat transfer from physical phenomena as well as the development of practical tools for calculating the thermal performance of buildings and components. This paper presents methods for determining the thermal performance of walls. Finally presents a software where you can combine different wall parts and check their overall thermal performance.

**Keywords:** Thermal Transmittance. Thermal Capacity. Cladding. Masonry. *Wood framing*, Software.

## ÍNDICE DE NOMENCLATURAS

- $A$  = área da superfície através da qual a transferência de calor ocorre ( $m^2$ )
- $\alpha$  = difusividade térmica ( $m^2/s$ )
- $\alpha$  = absorvância da superfície (0 à 1)
- $c$  = calor específico ( $J/(Kg.K)$ )
- $C_T$  = Capacidade térmica ( $J/(m^2.K)$ )
- $C_{e+i}$  = capacidade térmica equivalente entre a estrutura e o isolante ( $kJ/(m^2.K)$ );
- $C_i$  = capacidade do isolante ( $kJ/(m^2.K)$ );
- $dT/dx$  = gradiente de temperatura ( $K/m$ )
- $\Delta T$  = variação da temperatura ( $K$ )
- $\Delta U$  = variação da energia interna ( $J$ )
- $e$  = espessura na qual a variação de temperatura ocorre ( $m$ )
- $\varepsilon$  = emissividade da superfície (0 à 1)
- $h_c$  = coeficiente de transferência de calor por convecção ( $W/(m^2.K)$ )
- $k$  = condutividade térmica ( $W/(m.K)$ )
- $m$  = massa ( $Kg$ )
- $\rho$  = peso específico ( $Kg/m^3$ )
- $Q_{abs}$  = taxa de radiação absorvida ( $W$ )
- $Q_{cond,parede}$  = transferência de calor por condução através de uma parede ( $W$ )
- $Q_{cond}$  = transferência de calor por condução ( $W$ )
- $Q_{conv}$  = transferência de calor por convecção ( $W$ )
- $Q_{conv-ex}$  = transferência de calor entre o ar externo e a superfície externa da parede ( $W$ )
- $Q_{conv-in}$  = transferência de calor entre o ar interno e a superfície interna da parede ( $W$ )
- $Q_{emiss,máx}$  = taxa máxima de emissão de radiação (radiação de corpo negro) ( $W$ )
- $Q_{inc}$  = taxa de radiação incidente ( $W$ )
- $Q_{rad}$  = transferência de calor líquida por radiação ( $W$ )
- $Q_{ref}$  = taxa de radiação refletida ( $W$ )
- $R_{cond}$  = resistência térmica devido a condução ( $K/W$ )
- $R_{conv}$  = resistência térmica devido a convecção ( $K/W$ )
- $R_{parede}$  = resistência térmica da parede ( $K/W$ )
- $R_{ae}$  = resistência do acabamento externo ( $(m^2.K)/W$ )
- $R_e$  = resistência da estrutura da parede ( $(m^2.K)/W$ )
- $R_{ai}$  = resistência do acabamento interno ( $(m^2.K)/W$ )
- $R_{conv-ext}$  = resistência do ar com a superfície da parede externa ( $(m^2.K)/W$ )
- $R_{conv-int}$  = resistência do ar com a superfície interna da parede ( $(m^2.K)/W$ )
- $R_{e+i}$  = resistência equivalente entre a estrutura e o isolante ( $(m^2.K)/W$ )
- $R_i$  = resistência do isolante ( $(m^2.K)/W$ )

$U$  = transmitância térmica ( $W/K$ )

$T_1$  = temperatura da superfície mais quente (K)

$T_2$  = temperatura da superfície menos quente (K)

$T_\infty$  = temperatura do fluido suficientemente longe da superfície (K)

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann ( $W/(m^2.K)$ )

$T_s$  = temperatura termodinâmica na qual se encontra o corpo (K)

$V$  = volume ( $m^3$ )

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: GRÁFICO SOBRE O CRESCIMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E A TAXA DE CRESCIMENTO.....	18
FIGURA 2: HABITAÇÕES PROTEGIDAS PELAS ENCOSTAS DE PEDRA .....	21
FIGURA 3: PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR: CONDUÇÃO, CONVECÇÃO E RADIAÇÃO.....	22
FIGURA 4: TRANSFERÊNCIA POR CONDUÇÃO ATRAVÉS DE UMA PAREDE.....	23
FIGURA 5: TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO DE UMA SUPERFÍCIE PARA O AR EM MOVIMENTO. ....	23
FIGURA 6: ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO INCIDENTE EM UMA SUPERFÍCIE OPACA DE ABSORTÂNCIA A.....	25
FIGURA 7: TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO ENTRE UMA SUPERFÍCIE E UM GÁS DE SUPERFÍCIE MUITO MAIOR .....	26
FIGURA 8: PAREDE COM SUPERFÍCIES ISOTÉRMICAS: REGIME UNIDIRECIONAL E PERMANENTE.....	29
FIGURA 9: REPRESENTAÇÃO DE RESISTÊNCIAS TÉRMICAS ATRAVÉS DE UMA PAREDE EM ALVENARIA. ....	32
FIGURA 10: DIVISÃO DA PAREDE EM SEÇÕES .....	34
FIGURA 11: ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO .....	35
FIGURA 12: PAREDE DE TAIPA .....	37
FIGURA 13: PAREDE DE PAU-A-PIQUE.....	38
FIGURA 14: CASA DA CÂMARA TODA EM CANTARIA.....	38
FIGURA 15: PEDRAS UTILIZADAS PARA CONSTRUÇÃO DE CANTARIAS.....	38
FIGURA 16: VARIADOS TAMANHOS DE TIJOLOS OFERTADOS NO MERCADO.....	40
FIGURA 17: ASSENTAMENTO COM ARGAMASSA COMUM .....	41
FIGURA 18: ASSENTAMENTO COM ARGAMASSA DE POLÍMERO.....	41
FIGURA 19: CASA DE ALTO PADRÃO EM <i>WOOD FRAME</i> CONSTRUÍDA PELA TEC VERDE®. ....	42
FIGURA 20: PERFIS DE PINUS UTILIZADO NO SISTEMA <i>WOOD FRAME</i> .....	42
FIGURA 21: CHAPA DE OSB.....	43
FIGURA 22: APLICAÇÃO DE MEMBRANA HIDRÓFUGA. ....	43
FIGURA 23: REVESTIMENTO EXTERNO EM PVC.....	44
FIGURA 24: REVESTIMENTO INTERNO AUTO ADESIVO (IDEAL PARA RECEBER PINTURAS VERNIZES E LACAS) .....	44
FIGURA 25: ESQUEMA EM PLANTA DAS PAREDES ESTUDADAS POR GIGLIO .....	45
FIGURA 26: CAPACIDADE TÉRMICA E RESISTÊNCIA TÉRMICA.....	45
FIGURA 27: TIJOLO CERÂMICO 6 FUROS (9X14X19) CM NA CONFIGURAÇÃO ½ VEZ.....	47
FIGURA 28: TIJOLO CERÂMICO 6 FUROS (9X14X19) CM NA CONFIGURAÇÃO 1 VEZ.....	47
FIGURA 29: TIJOLO MACIÇO (5X10X21) CM NA CONFIGURAÇÃO ½ VEZ. ....	48
FIGURA 30: TIJOLO MACIÇO (5X10X21) CM NA CONFIGURAÇÃO 1 VEZ. ....	48
FIGURA 31: ESTRUTURA EM <i>WOOD FRAMING</i> COM PERFIS EM PINUS ESPAÇADOS EM 40 OU 60CM .....	49
FIGURA 32: ESTRUTURA EM <i>STEEL FRAMING</i> COM PERFIS EM PINUS ESPAÇADOS EM 40 OU 60CM.....	49
FIGURA 33: REPRESENTAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS EM SÉRIE DE UMA PAREDE.....	50
FIGURA 34: FLUXOGRAMA DA LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO .....	52
FIGURA 35: RESISTÊNCIA TÉRMICA DOS MÓDULOS DE PAREDES.....	57
FIGURA 36: CAPACIDADE TÉRMICA DOS MÓDULOS DE PAREDES .....	57
FIGURA 37: JANELA INICIAL DO SOFTWARE.....	58
FIGURA 38: JANELA PARA SELEÇÃO DE ESTRUTURA E ACABAMENTOS INTERNO E EXTERNO.....	59

FIGURA 39: JANELA PARA SELEÇÃO DE ISOLANTE .....	59
FIGURA 40: JANELA DE RESULTADOS .....	60
FIGURA 41: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DAS DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE PAREDES .....	62
FIGURA 42: CAPACIDADE TÉRMICA DAS DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE PAREDES .....	63
FIGURA 43: CONTRIBUIÇÃO DE CADA CAMADA PARA A RESISTÊNCIA TÉRMICA.....	64
FIGURA 44: CONTRIBUIÇÃO DE CADA CAMADA PARA A CAPACIDADE TÉRMICA .....	65
FIGURA 45: GEOMETRIA DO APROXIMADA DO TIJOLO (9x14x19) ½ VEZ .....	71
FIGURA 46: DIMENSÕES DA ÁREA PERPENDICULAR AO FLUXO DE CALOR TIJOLO (9x14x19) ½ VEZ.....	74
FIGURA 47: GEOMETRIA APROXIMADA DO TIJOLO (9 x 14 x 19) 1 VEZ.....	75
FIGURA 48: DIMENSÕES DA ÁREA PERPENDICULAR AO FLUXO DE CALOR TIJOLO (9x14x19) 1 VEZ.....	77
FIGURA 49: DIMENSÕES DA ÁREA PERPENDICULAR AO FLUXO DE CALOR TIJOLO MACIÇO 1 VEZ.....	78
FIGURA 50: DIMENSÕES DA ÁREA PERPENDICULAR AO FLUXO DE CALOR MACIÇO ½ VEZ .....	79
FIGURA 51: ENTRADA DE DADOS EXEMPLO 1.....	93
FIGURA 52: RESULTADOS EXEMPLO 1.....	94
FIGURA 53: ENTRADA DE DADOS EXEMPLO 2.....	95
FIGURA 54: ENTRADA DE DADOS EXEMPLO 2.....	96
FIGURA 55: RESULTADOS EXEMPLO 2.....	96

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: DENSIDADE, CONDUTIBILIDADE TÉRMICA E CALOR ESPECÍFICO DE ALGUNS MATERIAIS UTILIZADOS EM PAREDES DE ALVENARIA E <i>WOOD-FRAME</i> .....	35
TABELA 2: DIRETRIZES DE CONSTRUÇÃO PARA CADA ZONA BIOCLIMÁTICA BRASILEIRA .....	36
TABELA 3: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA MÁXIMA RECOMENDADA .....	37
TABELA 4: CAPACIDADE TÉRMICA MÍNIMA RECOMENDADA .....	37
TABELA 5: EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS DO BRASIL.....	39
TABELA 6: DIMENSÕES DOS PERFIS DE PINUS UTILIZADOS NO SISTEMA <i>WOOD FRAME</i> .....	43
TABELA 7: COMPARATIVOS DOS CUSTOS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	46
TABELA 8: RESISTÊNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA DE MÓDULOS DE PAREDES .....	55
TABELA 9: TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA DE DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE PAREDES.....	60

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>3 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>18</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>20</b>
4.1. CONFORTO TÉRMICO.....	20
4.2. TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	21
4.2.1 CONDUÇÃO.....	22
4.2.2 CONVECÇÃO.....	23
4.2.3 RADIAÇÃO.....	24
4.2.4 Propriedades Térmicas da matéria.....	27
4.2.5 Transferência de calor através de uma parede plana.....	28
4.2.6 DIFERENÇAS ENTRE SÍMBOLOS E UNIDADES.....	32
4.3 REGULAMENTAÇÃO TÉRMICA DE EDIFÍCIOS NO BRASIL.....	33
4.3.1. A NBR-15220 – DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES.....	33
4.3.2. NBR-15575-4 – EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO - PARTE 4: SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS E EXTERNAS - SVVIE.....	36
4.4. EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS NO BRASIL.....	37
4.5 ALVENARIA.....	40
4.6 WOOD FRAME.....	41
4.7. ESTUDOS SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS.....	44
4.8 VIABILIDADE ECONÔMICA DO WOOD-FRAME.....	45
<b>5 DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>47</b>
5.1 DEFINIÇÃO DE MÓDULOS REPRESENTATIVOS DAS CAMADAS DAS VEDAÇÕES VERTICAIS.....	47
5.1.1. MÓDULOS DE ESTRUTURAS DE PAREDES.....	47
5.2. CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS.....	50
5.2. CRIAÇÃO DE SOFTWARE.....	51
5.2.1. CRIAÇÃO DA INTERFACE E COMPONENTES.....	51
5.2.2. LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO.....	51
5.2.4. REALIZAÇÃO DE TESTES PARA VALIDAÇÃO DO SOFTWARE.....	52
5.3. SIMULAÇÕES E COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES PAREDES.....	52

<b>6 RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
6.1. TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA PARA OS MÓDULOS.....	54
6.2. SOFTWARE PARA DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES .....	58
6.3. COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE PAREDES .....	60
6.3.1. PAREDE EM ALVENARIA VERSUS PAREDE EM WOOD FRAMING .....	65
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>67</b>
<b>8 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE CADA MÓDULO DE PAREDE.....</b>	<b>71</b>
RESISTÊNCIAS PARA MÓDULOS DA ESTRUTURA DA PAREDE.....	71
<i>Tijolo de 6 furos (9x14x19) cm assentado na menor dimensão (1/2 vez).....</i>	<i>71</i>
<i>Tijolo de 6 furos (9x14x19) cm assentado na dimensão intermediária (1 vez).....</i>	<i>75</i>
<i>Tijolo maciço assentado deitado (10 x 21 x 5) cm (1 vez) .....</i>	<i>77</i>
<i>Tijolo maciço assentado em pé (1/2 vez) (10 x 21 x 5).....</i>	<i>79</i>
<i>Wood Framing com perfis de (44x90) mm e espaçamento de 40 cm .....</i>	<i>80</i>
<i>Wood Framing com perfis de (44x90) mm e espaçamento de 60 cm .....</i>	<i>81</i>
<i>Steel framing com guia em U de (92x40) mm e espaçamento de 40 cm .....</i>	<i>82</i>
<i>Steel framing com guia em U de (92x40) mm e espaçamento de 60 cm .....</i>	<i>83</i>
RESISTÊNCIAS PARA MÓDULOS DE ACABAMENTOS.....	83
<i>Revestimento argamassado com 2,5cm de espessura.....</i>	<i>83</i>
<i>OSB + Placa Cimentícia.....</i>	<i>83</i>
<i>OSB + Gesso cartonado.....</i>	<i>84</i>
<i>OSB + Stucco .....</i>	<i>84</i>
<i>OSB + Papel de parede ou somente pintura.....</i>	<i>85</i>
RESISTÊNCIAS PARA MÓDULOS DE ISOLANTES .....	85
<i>Lã de Vidro.....</i>	<i>85</i>
<i>Lã de Rocha .....</i>	<i>85</i>
<i>Poliestireno Expandido.....</i>	<i>85</i>
CAPACIDADE TÉRMICA PARA MÓDULOS DA ESTRUTURA DA PAREDE.....	85
<i>Tijolo de 6 furos (9x14x19) cm assentado na menor dimensão (1/2 vez).....</i>	<i>85</i>
<i>Tijolo de 6 furos (9x14x19) cm assentado na dimensão intermediária (1 vez).....</i>	<i>86</i>
<i>Tijolo maciço assentado deitado (10 x 21 x 5) cm (1 vez) .....</i>	<i>88</i>
<i>Tijolo maciço assentado em pé (1/2 vez) (10 x 21 x 5).....</i>	<i>88</i>
<i>Wood Framing com perfis de (44x90) mm e espaçamento de 40 cm .....</i>	<i>89</i>
<i>Wood Framing com perfis de (44x90) mm e espaçamento de 60 cm .....</i>	<i>89</i>
<i>Steel framing com guia em U de (92x40) mm e espaçamento de 40 cm .....</i>	<i>90</i>
<i>Steel framing com guia em U de (92x40) mm e espaçamento de 60 cm .....</i>	<i>90</i>

CAPACIDADE TÉRMICA PARA MÓDULOS DOS ACABAMENTOS.....	91
CAPACIDADE TÉRMICA PARA MÓDULOS OS ISOLANTES .....	92
<b>APÊNDICE B – REALIZAÇÃO DE EXEMPLO PARA VALIDAÇÃO DO SOFTWARE.....</b>	<b>93</b>
EXEMPLO 1: .....	93
<i>Cálculo através do software.....</i>	<i>93</i>
<i>Cálculo manual.....</i>	<i>94</i>
EXEMPLO 2:.....	95
<i>Cálculo através do software.....</i>	<i>95</i>
<i>Cálculo manual.....</i>	<i>96</i>

## 1 INTRODUÇÃO

O conforto térmico sempre foi importante para a vida humana. Em condições de conforto as pessoas têm maior capacidade produtiva, menos estresse, etc. É função do ambiente construído prover condições de conforto para seus habitantes.

A recente norma sobre desempenho de edificações (NBR-15575) e a necessidade das novas construções estarem de acordo com ela, vem alavancando o desenvolvimento de novos materiais isolantes, de tal forma que novos processos produtivos possam fornecer maior eficiência térmica.

Há muito tempo o sistema tradicional de construção civil no Brasil é a alvenaria, nos seus mais variados formatos. Por outro lado, a construção seca se tornou o método predominante em países como os Estados Unidos e o Canadá. Esse tipo de construção permite a industrialização e possibilita um grande avanço na qualidade da obra, rapidez de execução e diminuição da geração de resíduo. Promete, ainda, alto desempenho térmico e acústico. Com relação aos sistemas construtivos secos é necessário maior conhecimento sobre seu desempenho térmico no Brasil.

Assim, esse trabalho tem por objetivo estudar vedações verticais desses dois métodos no quesito do desempenho térmico através de determinação teórica das propriedades térmicas transmitância e capacidade térmica, verificando a adequação de ambos às normas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Estudar o desempenho térmico de vedações verticais para edificações.

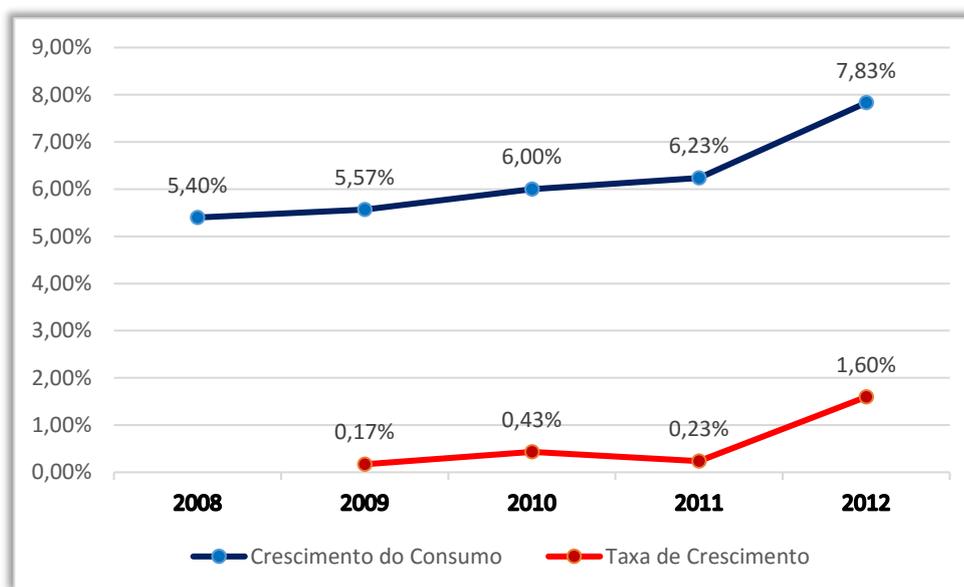
### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudar a regulamentação brasileira sobre o desempenho térmico de edificações;
- Calcular a transmitância e a capacidade térmica de módulos de vedações verticais;
- Elaborar software para o cálculo de transmitância e capacidade térmica total de algumas configurações de vedações verticais;
- Realizar comparações numéricas de determinadas vedações verticais.

### 3 JUSTIFICATIVA

O desempenho da edificação sob o aspecto de conforto térmico se faz necessário para promover ao homem o adequado desenvolvimento das suas atividades diárias (descanso, lazer ou trabalho). Além disso, o conforto térmico eficiente nos ambientes pode minimizar a incidência de estresse no homem, pois ambientes climatizados facilitam a concentração (LAMBERTS, 2004).

A solução encontrada para se conseguir esse ambiente perfeito para o homem moderno é o condicionamento de ar, porém esse método demanda de uma quantidade considerável de energia elétrica. Segundo dados da EPE (Empresa de pesquisa energética) no Brasil, no comércio, o consumo de energia elétrica cresceu 7,9% em 2012, taxa que está acima do dobro da média nacional considerando os últimos três anos. Esse crescimento pode ser explicado pelo aumento da aquisição de condicionadores de ar motivadas pelas altas nas temperaturas neste referido ano principalmente nos estados sul e sudeste (Figura 1).



**Figura 1: Gráfico sobre o crescimento do consumo de energia elétrica e a taxa de crescimento.**  
Fonte: Adaptado de EPE (2013).

O aumento do consumo de energia elétrica é preocupante, e uma solução pode ser o emprego de materiais com maior resistência térmica nas edificações, proporcionando maior isolamento térmico do ambiente a ser ocupado, reduzindo as trocas de calor com o meio externo.

A recente norma de desempenho de edificações habitacionais (NBR – 15575) de 2013 expressa formalmente essa preocupação, incentivando construções mais eficientes quanto ao desempenho térmico, e especificando índices de transmitância térmica e capacidade térmica para paredes externas. A necessidade de adequação dos novos empreendimentos à nova norma alavanca o desenvolvimento de novos processos construtivos.

Ressalta-se que o sistema em construção seca ou construção energitérmica sustentável é utilizado em grande escala no exterior. Segundo Lim, (2011) e Sacco, et al., (2008), nos dias de hoje a maioria das novas construções dos Estados Unidos é em *wood-frame* e quase não se encontra construções em outro método construtivo. Apesar de muito estudado e utilizado no exterior, os sistemas em construção seca no Brasil vêm ganhando maior visibilidade somente agora. A caracterização dos índices térmicos das paredes no sistema *wood-frame* tem grande importância pois poderá contribuir com a disseminação da técnica no país.

Além de corresponder aos índices da norma, o sistema tem ainda que se apresentar melhor que a alvenaria, construção predominante no Brasil, para justificar a escolha por esse novo método. Dá-se então, a importância de levantar os índices térmicos das vedações de ambos processos construtivos e comparar suas eficiências.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. CONFORTO TÉRMICO

O conforto ambiental das edificações, segundo Nerbas (2008), pode ser definido como: “A adequação ao uso do homem, respeitando condições térmicas, de ventilação, de insolação, de acústica e visual, capazes de alterar o desempenho da edificação e seu contexto urbano”.

Dentro do conforto ambiental está o conforto térmico, ou seja, a sensação de bem-estar do homem inserido em uma determinada condição climática. Segundo Çengel (2009), essas condições climáticas são temperatura, umidade relativa e movimento do ar, sendo que a temperatura ambiente é o mais importante índice de conforto.

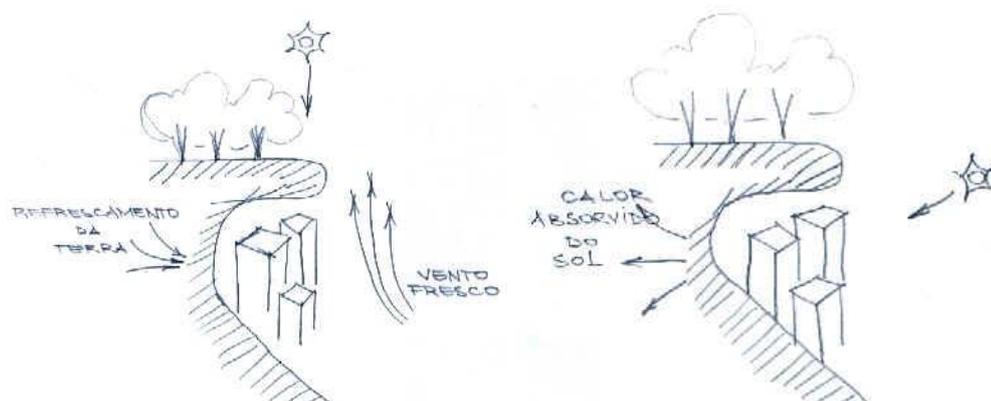
Segundo Frota (2001), o organismo humano, a grosso modo, pode ser comparado com uma máquina que produz calor ao realizar trabalho e as exigências humanas para se sentir confortável estão relacionadas à esse calor, o qual precisa ser liberado em quantidade suficiente para que sua temperatura interna consiga se manter aproximadamente em 37°C.

De acordo com a autora, a sensação do indivíduo é de conforto e sua capacidade de trabalho é máxima quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem esforço. Quando temos a sensação de calor ou frio é porque as condições térmicas não estão adequadas e estamos perdendo mais calor ou menos calor que o necessário para nosso organismo se manter na temperatura ideal, a qual passa a ser conseguida com esforço adicional, causando o desconforto.

Estudos envolvendo seres humanos concluiu que a maioria das pessoas vestidas normalmente e descansando ou fazendo trabalhos leves sente-se confortável na “temperatura operacional” (aproximadamente, a temperatura média do ar e superfícies circundantes) no intervalo de 23°C e 27°C e umidade relativa do ar entre 30% e 70%, com 50% sendo o nível mais desejável.

Esse conforto térmico necessário para o bom desempenho das atividades humanas, desde os primórdios, vem influenciando na arquitetura. Olhando para nossos ancestrais podemos enxergar diferentes soluções encontradas por diferentes civilizações durante a História. Lamberts et al. (1997), cita o exemplo de alguns habitantes do deserto do Colorado, nos Estados Unidos, que construía suas habitações protegidas do sol pelas encostas de pedras, as quais permitiam a entrada do sol no inverno (quando a inclinação

do sol é mais baixa) aquecendo-as durante o dia e no verão, as encostas funcionavam como um bloqueador para os raios solares (Figura 2). Assim como edificações que foram construídas subterrâneas na região setentrional da China, propiciando temperaturas mais amenas para compensar os extremos das temperaturas do ar nessa região.



**Figura 2: Habitações protegidas pelas encostas de pedra**

Fonte: Histórico de ventilação, (2003)

Com o passar do tempo, o homem percebeu que podia forçar uma ventilação. Os leques são um exemplo a se mencionar, estes têm por princípio a movimentação do ar. Os ventiladores seguem esse mesmo princípio.

A partir do movimento modernista, o homem agora habitando os grandes aglomerados urbanos com gigantescas fachadas envidraçadas exigia uma forma “alternativa” de ventilação. Surge, então, o sistema de condicionamento de ar ou aquecimento de ar, sonho de consumo de muitas famílias brasileiras.

## 4.2. TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor pode ser definida como a transferência de energia de um ponto à outro como resultado de um gradiente de temperatura entre eles (INCROPERA, 2007).

Existem três tipos de transferência de calor, por condução, convecção e radiação, os quais estão inseridos no cotidiano (Figura 3).



Figura 3: Processos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.

Fonte: Marques (2009)

#### 4.2.1 CONDUÇÃO

A condução pode ser vista como a transferência de energia através das interações entre partículas, através das mais energéticas para as menos energéticas. Esse tipo de transferência pode ocorrer em sólidos, líquidos e gases desde que nos líquidos e gasosos não haja movimento (INCROPERA, 2007).

A Lei de Fourier da condução térmica em referência a J. Fourier rege os fenômenos de transferência de calor por condução, através dela podemos calcular o fluxo de calor transportado por condução entre duas superfícies (ÇENGEL, 2009).

$$Q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (W) \quad (1)$$

Onde:

$Q_{cond}$  = transferência de calor por condução (W)

k = condutividade térmica (W/(m.K))

A = área da superfície através da qual a transferência de calor ocorre (m<sup>2</sup>)

$dT/dx$  = gradiente de temperatura (K/m)

A passagem de calor do lado mais quente de uma parede para o lado mais frio é um exemplo de transferência de calor por condução. (Figura 4)

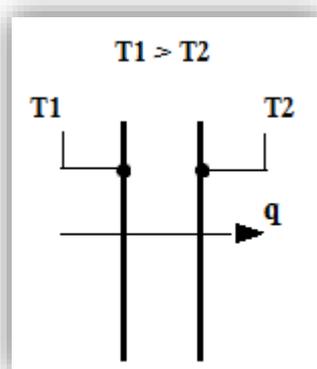


Figura 4: Transferência por condução através de uma parede

Fonte: Adaptado de Incropera (2007)

#### 4.2.2 CONVECÇÃO

O modo de transferência de calor por convecção acontece através do movimento de um fluido em contato com uma superfície, estando os dois com uma diferença de temperatura. A Figura 5 representa o fluxo de calor saindo da superfície que está a uma temperatura maior que a do ar.

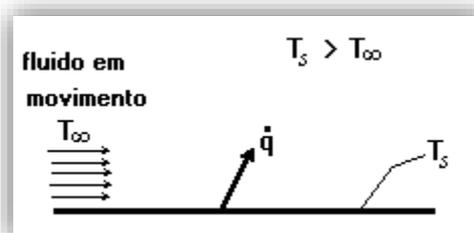


Figura 5: Transferência de calor por convecção de uma superfície para o ar em movimento.

Fonte: Adaptado de Incropera (2007)

A equação apropriada para a taxa de transferência é a lei do resfriamento de Newton (INCROPERA, 2007), representada pela equação (2).

$$Q_{conv} = h_c \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\infty}) \quad (W) \quad (2)$$

Onde:

$Q_{conv}$  = transferência de calor por convecção (W)

$h_c$  = coeficiente de transferência de calor por convecção (W/(m<sup>2</sup>.K))

$A_s$  = área da superfície através da qual a transferência de calor ocorre (m<sup>2</sup>)

$T_s$  = temperatura da superfície (K)

$T_{\infty}$  = temperatura do fluido suficientemente longe da superfície (K)

### 4.2.3 RADIAÇÃO

A radiação é a forma como a energia do sol chega na Terra, ela é a única das transferências de calor que ocorre no vácuo e é muito mais rápida que as outras duas (na velocidade da luz). Todos os sólidos, líquidos e gases emitem radiação em diferentes graus desde que não estejam a uma temperatura de 0K.

A taxa máxima de radiação é dada pela lei de Stefan-Boltzmann (ÇENGEL, 2009), representada pela equação (3).

$$Q_{emiss,m\acute{a}x} = \sigma A_s T_s^4 \quad (W) \quad (3)$$

Onde:

$Q_{emiss,m\acute{a}x}$  = taxa máxima de emissão de radiação (radiação de corpo negro) (W)

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann (W/(m<sup>2</sup>.K))

$A_s$  = área da superfície através da qual a transferência de calor ocorre (m<sup>2</sup>)

$T_s$  = temperatura termodinâmica na qual se encontra o corpo (K)

Onde  $\sigma$  (constante de Stefan-Boltzmann) possui o valor de  $5,670 \cdot 10^{-8}$  (W/(m<sup>2</sup>.K)). A superfície idealizada que emite radiação a essa taxa é chamada de corpo negro, para as outras superfícies existe uma propriedade chamada emissividade ( $\epsilon$ ), que varia entre zero e um. Para um corpo negro  $\epsilon = 1$  e quanto mais uma superfície tem emissividade perto de 1, mais seu comportamento se aproxima à de um corpo negro (ÇENGEL, 2009).

$$Q_{emiss} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (W) \quad (4)$$

Onde:

$Q_{emiss}$  = taxa de emissão de radiação (W)

$\epsilon$  = emissividade da superfície (0 à 1)

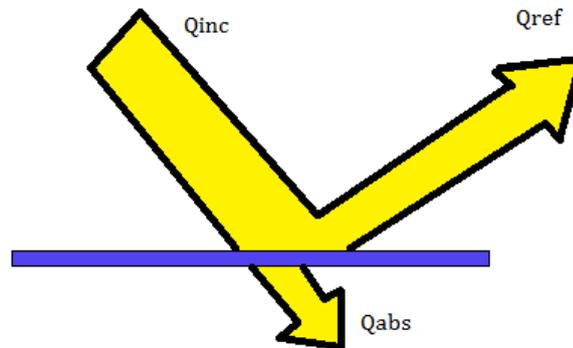
$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann (W/(m<sup>2</sup>.K))

$A_s$  = área da superfície através da qual a transferência de calor ocorre (m<sup>2</sup>)

$T_s$  = temperatura termodinâmica na qual se encontra o corpo (K)

A lei de Kirchhoff da radiação indica que uma outra propriedade importante a absorptância ( $\alpha$ ), utilizada em muitas aplicações práticas seja igual a emissividade ( $\epsilon$ ). A

taxa com que a superfície absorve radiação é determinada a partir da Equação 5, a figura 6 representa esse fenômeno (ÇENGEL, 2009).



**Figura 6: Absorção da radiação incidente em uma superfície opaca de absorvância  $\alpha$**

Fonte: Adaptado de Çengel (2009)

Em que, a transferência de calor absorvida e a transferência de calor refletida são representadas pelas equações (5) e (6), respectivamente.

$$Q_{abs} = \alpha Q_{inc} \quad (W) \quad (5)$$

E,

$$Q_{ref} = (1 - \alpha) Q_{inc} \quad (W) \quad (6)$$

Onde,

$Q_{abs}$  = taxa de radiação absorvida (W)

$Q_{ref}$  = taxa de radiação refletida (W)

$\alpha$  = absorvância da superfície (0 à 1)

$Q_{inc}$  = taxa de radiação incidente

A diferença entre as taxas de radiação emitida e de radiação absorvida é a transferência de calor líquida por radiação (ÇENGEL, 2009).

Quando uma superfície de emissividade ( $\epsilon$ ) e área ( $A_s$ ) à uma temperatura ( $T_s$ ) separada por um gás de uma superfície muito maior que está à uma determinada temperatura ( $T_{arr}$ ), a emissividade e a área da superfície envolvente não têm efeito sobre a transferência de calor líquida por radiação, a taxa líquida entre essas superfícies é dada pela equação (7) (ÇENGEL, 2009).

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{\infty}^4) \quad (W) \quad (7)$$

Onde:

$Q_{rad}$  = transferência de calor líquida por radiação (W)

$\epsilon$  = emissividade da superfície (0 à 1)

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann ( $W/(m^2.K)$ )

$A$  = área da superfície através da qual a transferência de calor ocorre ( $m^2$ )

$T_s$  = temperatura termodinâmica na qual se encontra o corpo (K)

$T_\infty$  = temperatura termodinâmica da superfície muito maior (K)

Exemplificando, podemos imaginar um muro de uma casa que está longe de qualquer outra superfície, ele está envolto pela atmosfera que é composta de ar, essa atmosfera tem uma superfície muito maior em relação à superfície do muro (Figura 7), nesse caso a taxa líquida de radiação não será influenciada nem pela área superficial da atmosfera nem pela emissividade dela, portanto a taxa líquida da transferência de calor por radiação será dada pela equação (7). Por outro lado, uma parede interna de uma residência a taxa transmitirá calor na forma de radiação para todas as superfícies à sua volta assim como receberá um calor incidente vindo dessas outras superfícies, nesse caso, a taxa líquida de radiação será a diferença entre as taxas de radiação emitida e de radiação absorvida.

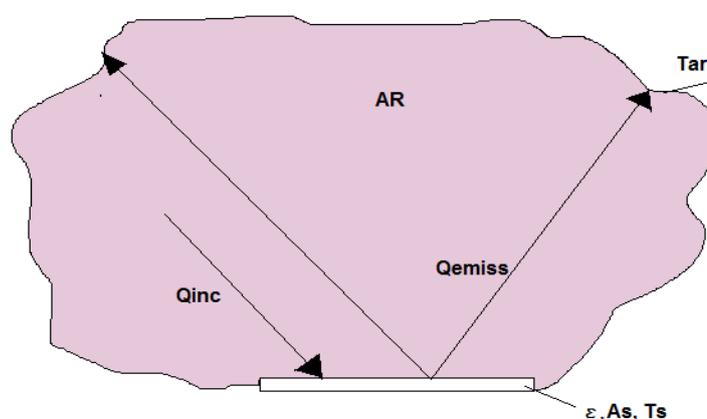


Figura 7: Transferência de calor por radiação entre uma superfície e um gás de superfície muito maior

Fonte: Adaptado de Çengel (2009)

#### 4.2.3.1 Efeito da Radiação no Conforto Térmico

Um efeito sobre a sensação térmica de calor no verão ou frio no inverno de uma pessoa dentro de casa será influenciada não só pela temperatura do ar, mas também pela radiação de todos os corpos à sua volta. A temperatura interna de uma pessoa através dos nossos mecanismos de termo-regulação se mantém constante em qualquer época do ano, porém a temperatura dos outros corpos estarão mais baixas no inverno e mais altas no verão, causando uma maior taxa líquida de radiação (ÇENGEL, 2009).

#### 4.2.4 Propriedades Térmicas da matéria

Segundo Incropera (2007), a condutibilidade térmica ( $k$ ) ou simplesmente condutibilidade é uma propriedade de transporte, portanto fornece uma indicação da taxa de transferência de calor pelo processo de difusão. Ela depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular, que está relacionada ao estado da matéria e é intrínseca de cada material. Isolando  $k$  pela equação de Fourier em (1), temos:

$$k = - \frac{e Q_{cond}}{\Delta T A} \quad (W/(m.K)) \quad (8)$$

Onde:

$k$  = condutividade térmica ( $W/(m.K)$ )

$e$  = espessura na qual a variação de temperatura ocorre (m)

$Q_{cond}$  = transferência de calor por condução (W)

$\Delta T$  = variação da temperatura (K)

$A$  = área da superfície através da qual a transferência de calor ocorre ( $m^2$ )

Outra propriedade importante é o calor específico ( $c$ ) (equação 9), que diz respeito ao estado de equilíbrio de um sistema. O calor específico é definido como a energia necessária para aumentar a temperatura em um grau de uma unidade de massa de uma dada substância. Pode ser entendida como a capacidade de armazenar calor e é uma propriedade intrínseca de cada material (INCROPERA, 2007 e ÇENGEL, 2009). Pode ser definido como:

$$c = \frac{\Delta U}{m \cdot \Delta T} \quad (J/(Kg.K)) \quad (9)$$

Onde:

$c$  = calor específico ( $J/(kg.K)$ )

$\Delta U$  = variação da energia interna (J)

$m$  = massa (kg)

$\Delta T$  = variação da temperatura (K)

Temos também a massa específica ( $\rho$ ) que assim como o calor específico é uma propriedade termodinâmica da matéria, é determinada pela razão entre a massa e o volume de um determinado material (INCROPERA e ÇENGEL, 2007 e 2009).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (kg/m^3) \quad (10)$$

Onde:

$\rho$  = massa específica (kg/m<sup>3</sup>)

m = massa (kg)

V = volume (m<sup>3</sup>)

Capacidade térmica de um componente ( $C_T$ ) é a capacidade total de armazenar calor, depende do calor específico e da quantidade de matéria (densidade vezes espessura). É importante para o desempenho térmico pois na maioria das cidades as temperaturas diurnas são bem maiores que as noturnas e essa capacidade de armazenar calor faz com que durante o dia a parede armazena o calor não transferindo-o para o interior da edificação e a noite quando as temperaturas são mais amenas essa parede perde calor gradativamente para o interior.

$$C_T = \rho \cdot c \cdot e \quad (J/(m^2 \cdot K)) \quad (11)$$

Onde:

$C_T$  = Capacidade térmica (J/(m<sup>2</sup>.K))

$\rho$  = peso específico (kg/m<sup>3</sup>)

c = calor específico (J/(kg.K))

e = espessura (m)

Multiplicando o calor específico pela massa específico temos a capacidade calorífica volumétrica (C). E ainda a razão entre a condutividade térmica e a capacidade calorífica é uma propriedade importante chamada difusividade térmica ( $\alpha$ ):

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad (m^2/s) \quad (12)$$

$\alpha$  = difusividade térmica (m<sup>2</sup>/s)

$\rho$  = massa específica (kg/m<sup>3</sup>)

c = calor específico (J/(kg.K))

#### 4.2.5 Transferência de calor através de uma parede plana

Segundo Çengel (2009) e Incropera (2007), transferência de calor através de uma parede plana é considerada unidimensional, pois medições de temperatura em vários locais da superfície interna ou externa atestarão que a superfície de uma parede é quase isotérmica (Figura 8). Como a transferência de calor ocorre na direção de um

gradiente de temperatura, não existe fluxo de calor nas direções y e z, somente na direção x.

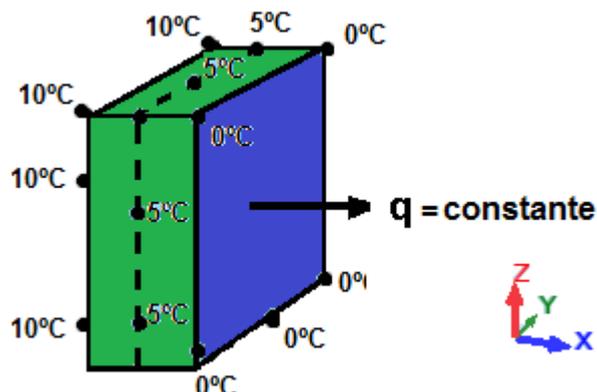


Figura 8: Parede com superfícies isotérmicas: regime unidirecional e permanente

Fonte: Adaptado de Çengel, (2009).

Ainda segundo os autores, podemos considerar que se a parede interna e a externa permanecem à uma temperatura constante, a variação da energia interna permanece constante com o passar do tempo ( $d_E/d_t = 0$ ), ou seja, a taxa de transferência de calor por condução dentro da parede e a taxa de transferência de calor por convecção da parede com o ar são as mesmas, considerando, dessa forma, o regime permanente.

$$Q_{conv-in} = Q_{cond} = Q_{conv-ex} \quad (13)$$

$Q_{conv-in}$  = transferência de calor entre o ar interno e a superfície interna da parede (W)

$Q_{cond}$  = transferência de calor por condução através da parede (W)

$Q_{conv-ex}$  = transferência de calor entre o ar externo e a superfície externa da parede (W)

Pela Figura 8 temos que a temperatura através da parede varia linearmente com x. Verifica-se que  $d_T/d_x = constante$ , ou seja, a distribuição da temperatura na parede sob condições permanentes é uma linha reta decrescente. Aplicando a equação (1) e considerando que a espessura da parede varia de (0) à (e), sendo a temperatura na posição 0 (superfície mais quente) igual a  $T_1$  e a temperatura na posição (e) igual a  $T_2$ . Usando a equação (1), após separar as variáveis e integrar de  $x=0$  à  $x=e$  e  $T_{(0)}=T_1$  à  $T_{(e)} = T_2$ , temos:

$$\int_0^e Q_{cond,parede} dx = - \int_{T_1}^{T_2} kA dT \quad (14)$$

Integrando e reorganizando, temos:

$$Q_{cond,parede} = kA \frac{T_1 - T_2}{e} \quad (W) \quad (15)$$

Onde:

$Q_{cond,parede}$  = transferência de calor por condução através de uma parede (W)

k = condutividade térmica (W/(m.K))

A = área da superfície através da qual a transferência de calor ocorre (m<sup>2</sup>)

$T_1$  = temperatura da superfície mais quente (K)

$T_2$  = temperatura da superfície menos quente (K)

e = espessura (m)

#### 4.2.5.1 CONCEITO DE RESISTÊNCIA TÉRMICA

A resistência térmica da parede em relação à condução de calor depende da geometria e das propriedades térmicas do meio. Reorganizando a equação (14), temos:

$$Q_{cond,parede} = \frac{T_1 - T_2}{R_{parede}} \quad (W) \quad (16)$$

Onde:

$Q_{cond,parede}$  = transferência de calor por condução através de uma parede (W)

$T_1$  = temperatura da superfície mais quente (K)

$T_2$  = temperatura da superfície menos quente (K)

$R_{parede}$  = resistência térmica da parede (K/W)

Portanto, a resistência térmica por condução é dada por:

$$R_{parede} = \frac{e}{kA} \quad (K/W) \quad (17)$$

Onde:

$R_{parede}$  = resistência térmica da parede (K/W)

e = espessura (m)

k = condutividade térmica (W/(m.K))

$A$  = área da superfície através da qual a transferência de calor ocorre ( $m^2$ )

Analogamente, o calor por convecção pode ser representado na equação (18).

$$Q_{conv} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{conv}} \quad (W) \quad (18)$$

$Q_{conv}$  = transferência de calor por convecção (W)

$T_s$  = temperatura da superfície (K)

$T_\infty$  = temperatura do fluido suficientemente longe da superfície (K)

$R_{conv}$  = resistência térmica devido a convecção (K/W)

Igualando a Equação (18) à Equação (2), temos que:

$$R_{conv} = \frac{1}{h_c A_s} \quad (K/W) \quad (19)$$

Onde:

$R_{conv}$  = resistência térmica devido a convecção (K/W)

$h_c$  = coeficiente de transferência de calor por convecção ( $W/(m^2.K)$ )

$A_s$  = área da superfície através da qual a transferência de calor ocorre ( $m^2$ )

As resistências térmicas podem ser comparadas às resistências elétricas e quando há uma combinação de vários materiais podemos fazer a resistência equivalente do todo. Seguindo esse princípio, as resistências ao calor provenientes de espessuras de diferentes materiais, colocados um após o outro, estarão em série se o fluxo de calor for transferido perpendicularmente a estas resistências. Analogamente, diferentes materiais dispostos paralelamente ao fluxo de calor estão em paralelo. Por exemplo, no caso de uma parede composta por tijolos maciços, o tijolo ( $R_{tijo}$ ) a argamassa de assentamento ( $R_{arg}$ ) estão em paralelo enquanto ambos em relação ao revestimento argamassado ( $R_{r-arg}$ ) de uma parede estão em série, assim como a resistência da parede está em série com as resistências por convecção no interior ( $R_{conv-int}$ ) e exterior ( $R_{conv-ext}$ ) da superfície. Esse circuito pode ser representado pelo o esquema na Figura (9).

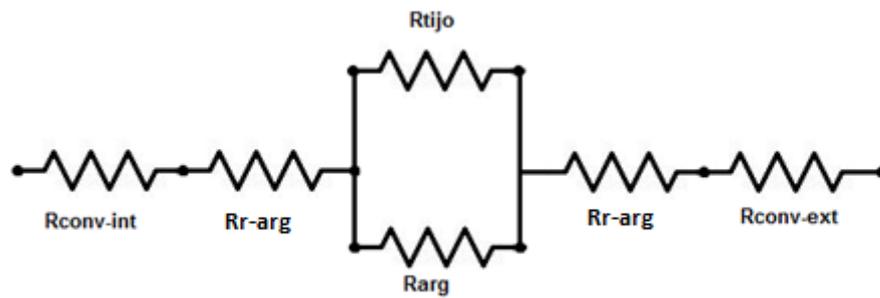


Figura 9: Representação de resistências térmicas através de uma parede em alvenaria.

#### 4.2.5.2. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

Segundo Lienhard IV (2015) sempre queremos transferir por uma associação de resistências é muito conveniente ter um número representativo,  $U$ , definido pela equação 20.

$$U \cdot A = \frac{1}{R_{cond}} \quad (W/K) \quad (20)$$

Onde:

$U$  = transmitância térmica ( $W/K$ )

$A$  = área da superfície através da qual a transferência de calor ocorre ( $m^2$ )

$R_{cond}$  = resistência térmica devido a condução ( $K/W$ )

Esse número é chamado transmitância térmica ele é definido pelo sistema, ou seja, pela associação de resistências, desse modo não sendo influenciado pelas condições de operação do sistema, como a temperatura, por exemplo (LIENHARD IV, 2015).

#### 4.2.6 DIFERENÇAS ENTRE SÍMBOLOS E UNIDADES

A NBR-15220-2 recomenda que os ensaios para determinar a resistência  $R$ , devem ser realizados sempre que possível. Na ausência desses valores ela recomenda que os valores de  $R$  sejam calculados pela expressão (20) e recomenda alguns valores de condutividade térmica ( $\lambda$ ) (Tabela 1).

$$R_{cond} = \frac{e}{\lambda} \quad (m^2K/W) \quad (21)$$

Onde:

$R_{cond}$  = resistência térmica por condução ( $m^2K/W$ )

$e$  = espessura (m)

$\lambda$  = condutividade térmica do material (W/(m.K))

Pela equação (16), temos:

$$R_{cond} = \frac{e}{kA} \quad (K/W) \quad (22)$$

Onde:

$R_{cond}$  = resistência térmica por condução (K/W)

$e$  = espessura (m)

$k$  = condutividade térmica do material (W/(m.K))

$A$  = área da superfície através da qual a transferência de calor ocorre (m<sup>2</sup>)

Nesse caso, podemos observar duas formas diferentes de calcular a resistência térmica, uma levando em conta a área a outra não e também apresentam símbolos diferentes para representar a condutividade térmica ( $\lambda$  e  $k$ ). Observando que os resultados de (18) são expressos em (m<sup>2</sup>K/W) e os resultados de (21) são expressos em (K/W), se dividirmos o lado direito da equação (20) pela área teremos equidade nas equações e em suas respectivas unidades e podemos concluir que  $\lambda = k$  e representam a mesma propriedade que é a condutividade térmica. Adotaremos a notação “ $k$ ” para essa propriedade.

Outro exemplo é a notação utilizada para espessura da parede, é comum encontrarmos diferentes notações para essa dimensão, em algumas bibliografias é representada por ( $e$ ) outras por ( $L$ ). Adotaremos a notação “ $e$ ” para essa dimensão.

### 4.3 REGULAMENTAÇÃO TÉRMICA DE EDIFÍCIOS NO BRASIL

Atualmente no Brasil existe duas normas que tratam sobre o desempenho térmico de edifícios e uma que normatiza o ensaio para determinação do coeficiente ( $k$ ), são a NBR-15220 a NBR-15575-4 e a NBR-6488 respectivamente.

#### 4.3.1. A NBR-15220 – DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Essa norma é específica para o desempenho térmico de edificações e é dividida em 5 partes:

Parte 1: Definições símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

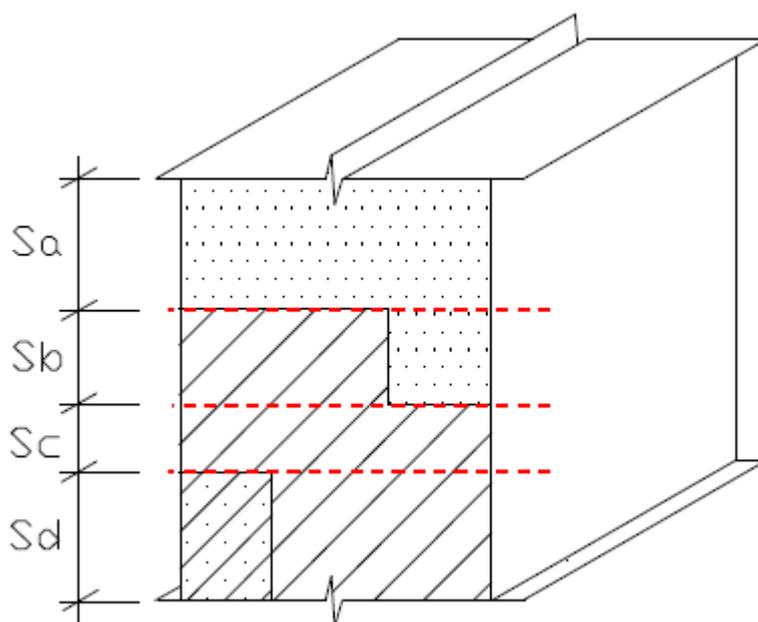
Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Na parte dois da NBR-15220 é explicado como se calcula essas propriedades utilizando dados de  $k$  provenientes da própria norma. Esses métodos de cálculo respeitam as leis de transferência de calor já tratados na revisão bibliográfica deste trabalho, porém é proposta uma abordagem diferente das resistências em série e paralelo.

Separa-se primeiramente a parede em seções que contenha apenas resistências em série como na Figura 10.



**Figura 10: Divisão da parede em seções**

**Fonte: NBR 15220**

Nas seções a resistência térmica é feita através da soma das resistências das camadas homogêneas e posteriormente é feita o cálculo da resistência equivalente em paralelo das seções.

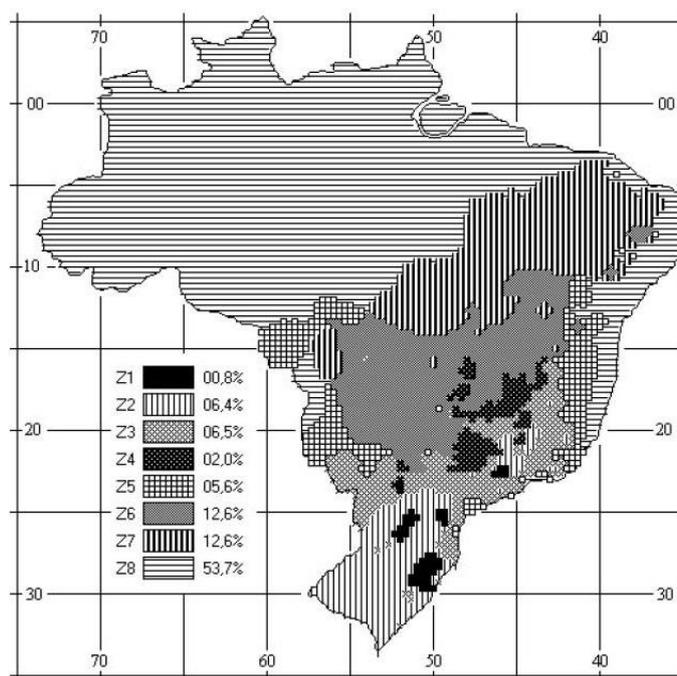
Na tabela são apresentados alguns valores de massa específica, condutibilidade térmica e calor específico de alguns materiais.

**Tabela 1: Densidade, Condutibilidade térmica e calor específico de alguns materiais utilizados em paredes de alvenaria e *wood-frame*.**

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	k (W/(m.K))	c (kJ/(kg.k))
<b>Materiais usados nas Vedações em Alvenaria</b>			
Argamassa Comum	1800 - 2100	1,15	1,0
Argamassa de Gesso (ou Cal e gesso)	1200	0,70	0,84
Argamassa celular	600 - 100	0,40	1,0
Tijolos de Barro	1300 - 1600	0,90	0,92
<b>Materiais usados nas Vedações em <i>Wood-frame</i></b>			
Placa de Gesso; Gesso Acartonado	750 - 1000	0,35	0,84
Lã de vidro	10 - 100	0,045	0,70
Pinus	450 - 600	0,15	1,34
Aglomerado de Fibras de Madeira	200 - 250	0,058	2,30

Fonte: Adaptada de NBR-15220-2

Na parte três da NBR-15220 é apresentado um zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias para as vedações em cada uma dessas zonas. O zoneamento é mostrado na figura 11.



**Figura 11: Zoneamento Bioclimático Brasileiro**  
Fonte: NBR-15220-3, (2003)

Para cada zona bioclimática a norma fornece diretrizes de construção para melhorar o conforto dos habitantes de unidades unifamiliares de casas populares, tendo em vista que esses podem não vir à adquirir um ar-condicionado. As medidas que devem ser tomadas segundo a norma é listada na Tabela (2).

**Tabela 2: Diretrizes de Construção para cada Zona Bioclimática Brasileira**

Zona Bioclimática	Tipos de Vedações Externas (Paredes)	Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo	
		Inverno	Verão
Zona 1	Leve	Aquecimento Solar da Edificação	-
		Vedações Internas Pesadas	
Zona 2	Leve	Aquecimento Solar da Edificação	Ventilação Cruzada
		Vedações Internas Pesadas	
Zona 3	Leve Refletora	Aquecimento Solar da Edificação	Ventilação Cruzada
		Vedações Internas Pesadas	
Zona 4	Pesada	Aquecimento Solar da Edificação	Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento
		Vedações Internas Pesadas	Ventilação Seletiva
Zona 5	Leve Refletora	Vedações Internas Pesadas	Ventilação Cruzada
Zona 6	Pesada	Vedações Internas Pesadas	Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento
			Ventilação Seletiva
Zona 7	Pesada	-	Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento
			Ventilação Seletiva
Zona 8	Leve refletora	-	Ventilação Cruzada Permanente

Fonte: Adaptada de NBR-15220-3

Essas diretrizes tratam-se de estratégias de condicionamento de ar passivo, indicações de tipos de paredes mais apropriadas e ainda sugere as aberturas e os sombreamentos indicados para da Zona Bioclimática.

#### **4.3.2. NBR-15575-4 – EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO - PARTE 4: SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS E EXTERNAS - SVVIE**

Essa norma aborda o assunto do desempenho térmico usando a mesma divisão bioclimática da NBR-15220-3 e recomenda desempenho térmico mínimo de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme as Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3: Transmitância térmica máxima recomendada**

Transmitância Térmica (U)		
W/m <sup>2</sup> .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha \leq 0,6^*$	$\alpha > 0,6^*$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

\* $\alpha$  é a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede

Fonte: Adaptada de NBR-15575-4

**Tabela 4: Capacidade Térmica mínima recomendada**

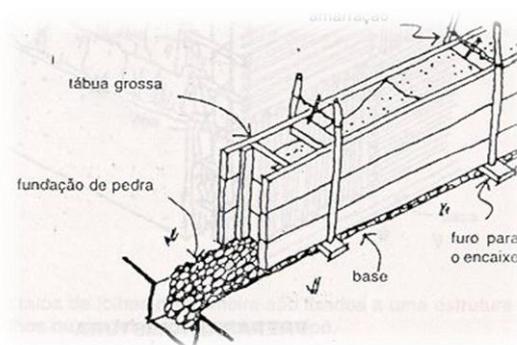
Capacidade Térmica (CT)	
kJ/m <sup>2</sup> .K	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: Adaptada de NBR-15575-4

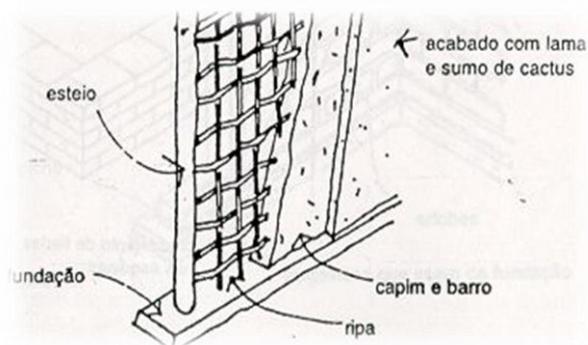
#### 4.4. EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS NO BRASIL

Hoje a construção predominante no Brasil é a alvenaria isso devido ao nosso contexto histórico que começou com nossa colonização.

Segundo Oliveira (1990), com a colonização difundiu-se a técnica da utilização da taipa (Figura 12), ainda há exemplos de construções desse tipo em todo país como o Museu de arte Sacra em São Paulo. A taipa é uma terra socada simplesmente apoiada e requer uma grande espessura para alcançar a rigidez necessária para a estrutura. Essa espessura avantajada faz com que se perca muitos espaços da edificação, esse foi um dos motivos para de avançar para as paredes de pau-a-pique (Figura 13) que com sua trama de ripas verticais e horizontais possibilita uma espessura menor e melhor aproveitamento dos espaços.



**Figura 12: Parede de Taipa**



**Figura 13: Parede de Pau-a-pique**

Segundo esse mesmo autor, “embora moroso, o tempo impõe modificações.” Foi assim que surgiu a cantaria que é o uso de rochas habilmente trabalhadas, principio desenvolvido na antiguidade quando blocos de granito eram assentados peça por peça.



**Figura 14: Casa da Câmara toda em Cantaria**  
Fonte: Rodrigues, (2010)



**Figura 15: Pedras utilizadas para construção de Cantarias.**

Fonte: Pedras de cantarias (2014)

Seguindo esse princípio do assentamento de unidades formando um todo, criou-se o bloco de argila que foi concebido para ter exatamente um tamanho facilmente

trabalhável pelas mãos humanas. Padronizou-se então o tijolo de barro cozido, também conhecido por tijolo maciço, seguido pelo tijolo furado de barro cozido e o bloco de concreto. Está definido então, o esqueleto da alvenaria atual, que vem ganhando novas tecnologias com o tempo, porém sem mudanças radicais.

**Tabela 5: Evolução dos métodos construtivos do Brasil**

Método	Avanço
Taipa	Trazido pelos colonizadores e predominante por muito tempo no Brasil
Pau-a-pique	Estrutura com o esteio, proporciona uma parede mais reduzida para a parede de Taipa.
Cantaria	Necessidade de um método mais eficiente, faz analogia a noções rudimentares onde blocos de granito eram assentados peça por peça.
Bloco de Argila	Largura média da mão humana para facilitar o trabalho, comprimento duas vezes a largura e espessura metade dela para facilitar as amarrações e alinhamentos.
Tijolo de Barro Cozido (5,5x11x22)	Fixou-se a produção de tijolo na Associação Brasileira de Normas Técnicas.
Tijolo Furado	Assentamento ganha em termos de velocidade, mas não exclui o tijolo de Barro cozido.
Bloco de Concreto	Produção industrializada. Coexiste com os dois outros.

Fonte: Adaptado de Oliveira, (1990)

#### 4.5 ALVENARIA

Bussab, (1990, p.17) define alvenaria como “massivos construídos de pedras naturais ou artificiais, ligadas entre si de modo estável pela combinação das juntas e interposição de argamassa ou somente por um desses meios”.

Temos então a alvenaria na maioria dos edifícios brasileiros dividida em três grupos principais: alvenaria de tijolos cerâmicos, de tijolos de concreto e de tijolos maciços. Com uma variedade de dimensões de tijolos e blocos podendo formar muitos tipos diferentes de paredes.

Existe uma vasta oferta de tijolos no mercado das mais variadas dimensões, podemos observar alguns exemplos na Figura 16.



**Figura 16: Variados Tamanhos de Tijolos ofertados no Mercado**

**Fonte: Adaptado de RSVirtud, (2014)**

Fixando-se um tamanho de tijolo pode-se ainda obter espessura de paredes diferentes dependendo da posição em que o tijolo é assentado. Pode ser de “meia vez” ou espelho, “uma vez” ou ainda mas menos utilizado de “uma vez e meia” (BUSSAB, 1990), sendo que o mais utilizado na região de Campo Mourão é o bloco cerâmico de seis furos com dimensões nominais de (09x14x19) cm. Em geral sendo utilizados na posição deitada ou “uma vez” para paredes externas e em pé ou “meia vez” para paredes internas.

Na forma mais usual (Figura 17) os tijolos são assentados em fiadas ímpares intercaladas, com argamassa de assentamento feita a partir de cimento, cal e água com 1,5

cm (Branco, 1981). Recentemente foi lançada uma nova tecnologia (Figura 18) para se fazer a ligação entre os tijolos, trata-se de uma argamassa polimétrica que promete maior confiabilidade pois já vem pronta para aplicação (CERCHIARI, 2011).



**Figura 17: Assentamento com argamassa comum**  
Fonte: Alvenaria de Tijolo (2011)



**Figura 18: Assentamento com argamassa de Polímero.**  
Fonte: Cerchiari, (2011)

Depois da parede levantada é aplicado o chapisco, essa camada tem cerca de 11mm e prepara a parede para a aplicação posterior do emboço. O emboço tem aproximadamente 25mm com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia (BRANCO, 1981).

#### **4.6 Wood Frame**

Segundo Giglio (2005), no Brasil as construções em madeira não são vistas com bons olhos, pois remetem às casas construídas em tábuas que devido a sua fina espessura não apresentam um bom isolamento térmico e são comumente conhecidas por serem quentes no verão e frias no inverno.

Wood Frame é um conceito novo no Brasil, porém, já é usado há bastante tempo principalmente pelos países da América do Norte como Estados Unidos e Canadá. Na Europa o crescimento desse tipo de construção ainda é em pequena escala, mas o método também é explorado, principalmente na Alemanha.

Apesar de não serem comuns, construções já são executadas nesse sistema aqui no Brasil. A figura 19 ilustra residências de alto padrão construídas no sistema *wood-frame* no Brasil.



**Figura 19: Casa de alto padrão em *wood frame* construída pela Tec verde®.**  
Fonte: Cerchiari, (2013)

Trata-se de um processo industrial sob os mais rigorosos controles de qualidade, sem muito trabalho *in-loco*. A velocidade é uma das principais vantagens desta tecnologia. Entre os benefícios do sistema *wood frame* pode-se citar a flexibilidade, o conforto térmico e acústico, o preço e a sustentabilidade (BONATTO, 2010).

A madeira comumente utilizada na fabricação dos perfis que formam a estrutura do *Wood Frame* é o pinus. Os perfis podem ser espaçados de 40 cm à 80cm podendo ser utilizado perfis de variados tamanhos dependendo desse espaçamento (Tabela 6).



**Figura 20: Perfis de pinus utilizado no sistema *wood Frame***  
Fonte: de Manual de Construção (2011)

**Tabela 6: Dimensões dos perfis de pinus utilizados no sistema *wood frame***

Bitola (mm)	Aplicação
44x65	Montante e Guia
44x90	
44X120	
44X140	Vigas e Vergas
44X190	

Fonte: Adaptado de Manual de Construção... (2011)

Os fechamentos das paredes são feitos em OSB (*Oriented Standard Board*) (Figura 21), este garante a estabilidade da estrutura fazendo o contraventamento (PENNER, 2011).

**Figura 21: Chapa de OSB**

Fonte: Manual de Construção (2011)

Para a vedação externa contra a umidade, usa-se uma membrana hidrófuga (Figura 22).

**Figura 22: Aplicação de Membrana Hidrófuga.**

Fonte: Manual de construção (2011).

Esse método construtivo oferece uma versatilidade no acabamento. Os principais tipos de acabamento utilizados para o interior são placa de gesso acartonado, e

revestimento auto adesivo (Figura 24) e para o exterior são placa cimentícia, malha de stuc e revestimento em PVC (Figura 23).



**Figura 23: Revestimento externo em PVC**

**Fonte: Manual Construção (2011)**



**Figura 24: Revestimento interno auto adesivo (ideal para receber pinturas vernizes e lacas)**

**Fonte: Manual Construção (2011)**

#### **4.7. ESTUDOS SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS**

Giglio, (2005) avaliou o desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina. Um dos métodos utilizados para essa avaliação foi o “método simplificado” que consiste nos métodos propostos pela NBR-15220 e NBR-15575, sendo que os cálculos das propriedades térmicas das vedações são realizados segundo a NBR-15220. O esquema das paredes estudadas e os resultados obtidos de capacidade térmica e resistência térmica estão na figura (25 e 26) respectivamente.

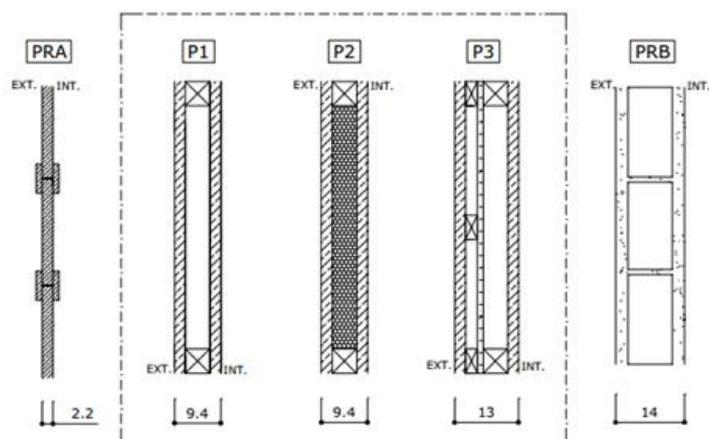


Figura 25: Esquema em planta das paredes estudadas por Giglio

Fonte: Giglio, (2005)

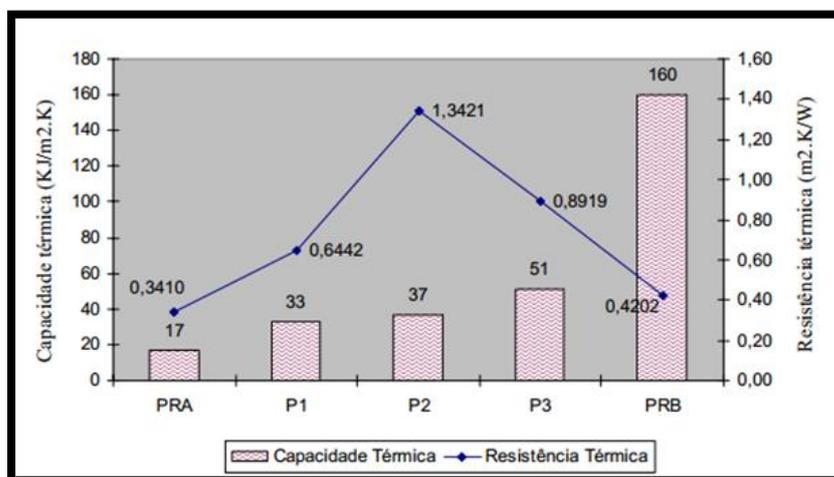


Figura 26: Capacidade térmica e Resistência térmica

Fonte: Adaptado de Giglio, (2005)

#### 4.8 VIABILIDADE ECONÔMICA DO *WOOD-FRAME*

Silva (2010) desenvolveu estudos orçamentários detalhados de todas as etapas de uma habitação de 43,28m<sup>2</sup> para os dois sistemas de bloco de concreto estrutural, bloco cerâmico com estrutura em concreto armado e para *wood frame* e comparou-os, concluindo que o sistema é viável economicamente. Alguns de seus resultados encontram-se na Tabela 7.

**Tabela 7: Comparativos dos Custos dos Sistemas Construtivos**

Sistema	Descrição	Preço Total
1.1	Sistema em Alvenaria Estrutural de concreto, Cobertura Shingle	R\$ 40.510,17
2.1	Sistema em Wood Frame, Cobertura Shingle	R\$ 40.027,87
3.1	Sistema em concreto Armado, Fechamento em Alvenaria de Blocos Cerâmicos, Cobertura Shingle	R\$ 39.083,55
1.2	Sistema em Alvenaria Estrutural de concreto, Cobertura Telha Cerâmica	R\$ 39.578,54
2.2	Sistema em Wood Frame, Cobertura Telha Cerâmica	R\$ 39.096,24
3.2	Sistema em Concreto Armado, Fechamento em Alvenaria de blocos cerâmicos, Cobertura Telha Cerâmica	R\$ 38.151,92

Fonte: Adaptado de Silva, (2010)

## 5 DESENVOLVIMENTO

### 5.1 DEFINIÇÃO DE MÓDULOS REPRESENTATIVOS DAS CAMADAS DAS VEDAÇÕES VERTICAIS

#### 5.1.1. MÓDULOS DE ESTRUTURAS DE PAREDES

Como visto na bibliografia existem vários tipos de tijolos disponíveis no mercado, como o mais comum na região de Campo Mourão – PR é o de 6 furos com dimensões (9x14x19) cm este foi escolhido para representar os tijolos cerâmicos tanto em sua configuração  $\frac{1}{2}$  vez, quanto em sua configuração 1 vez.



Figura 27: Tijolo cerâmico 6 furos (9x14x19) cm na configuração  $\frac{1}{2}$  vez

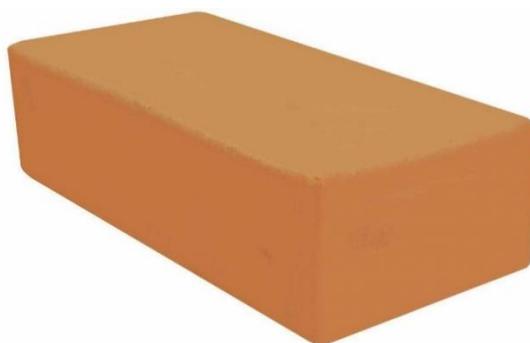


Figura 28: Tijolo cerâmico 6 furos (9x14x19) cm na configuração 1 vez

Outro tipo de material muito utilizado para a estrutura das paredes é o tijolo maciço, por sua vez, o escolhido representante desta categoria foi o tijolo maciço com dimensões (5x10x21) cm assentado nas configurações  $\frac{1}{2}$  e 1 vez.



**Figura 29: Tijolo maciço (5x10x21) cm na configuração ½ vez.**



**Figura 30: Tijolo maciço (5x10x21) cm na configuração 1 vez.**

Compondo a estrutura de uma parede em alvenaria existe a argamassa de assentamento para fazer a ligação entre os tijolos que geralmente corresponde a 1 cm de espessura.

Os outros quatro módulos de estrutura escolhidos são representantes do sistema *framing* ainda novo no Brasil. O primeiro consiste em perfis de madeira em pinus de (44x90) cm e com espaçamento entre perfis de 40 cm e o segundo com espaçamento de 60 cm. O terceiro e o quarto terão espaçamento de 40 cm e 60 cm respectivamente, porém compostos por perfis U em aço de 40x92 cm.

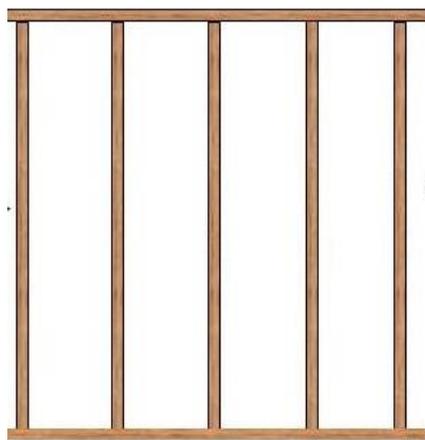


Figura 31: Estrutura em *wood framing* com perfis em pinus espaçados em 40 ou 60cm



Figura 32: Estrutura em *steel framing* com perfis em pinus espaçados em 40 ou 60cm

A estrutura da parede *framing* é composta ainda por um isolante que pode variar, foram considerados três possibilidades para esse isolante: lã de vidro, lã de rocha e poliestireno expandido.

#### 5.1.1.2. MÓDULOS DE ACABAMENTOS

O primeiro módulo de acabamento estudado tanto interno quanto externo foi o argamassado com 2,5 cm de espessura que é o que é comumente utilizado para alvenarias.

Para representar o estilo *framing* quatro tipos de acabamentos foram considerados, dois comumente utilizados no exterior e dois no interior da edificação, são eles: OSB de 11mm mais uma placa cimentícia de 10mm, OSB de 11mm mais revestimento argamassado no estilo *stucco* de 1,25 cm, OSB de 11mm mais uma placa de gesso cartonado de 12,5 cm e OSB de 11mm com papel de parede ou somente pintura.

## 5.2. CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS

Considerando que o fluxo de calor é unidirecional e perpendicular à face da parede como tratado nas referências bibliográficas poderemos tratar as resistências térmicas das camadas das paredes como resistências elétricas. Primeiramente o fluxo de calor atingirá uma resistência convectiva do ar que circunda o exterior logo em seguida passará pelo acabamento exterior, passando, então, pela estrutura da parede, em seguida pelo acabamento interior e finalmente pelo ar no interior. Esse caminho pode ser representado por resistências em série pelo o esquema abaixo:

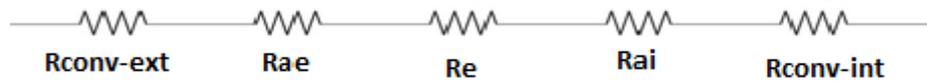


Figura 33: Representação das resistências em série de uma parede

Onde:

$R_{conv-ext}$  = resistência do ar com a superfície da parede externa;

$R_{ae}$  = resistência do acabamento externo;

$R_e$  = resistência da estrutura da parede;

$R_{ai}$  = resistência do acabamento interno;

$R_{conv-int}$  = resistência do ar com a superfície interna da parede.

A resistência do ar e dos acabamentos são constantes para toda a superfície da parede perpendicular ao fluxo de calor pois são compostos por um único material homogêneo. Porém, pela estrutura da parede vão existir materiais diferentes que compõem essa camada, como por exemplo no caso da alvenaria de tijolos maciços, a argamassa de assentamento e o tijolo formaram duas resistências diferentes colocadas em paralelo em relação ao fluxo de calor. Na alvenaria de tijolos cerâmicos o ar confinado no interior dos furos formará e a parede do tijolo naquela região formará outra configuração em paralelo. Seguindo a mesma analogia dos resistores elétricos poderemos calcular resistências equivalentes para esses resistores em paralelo, resolvendo o problema.

Com o intuito de estudar as interferências de cada camada (estrutura, acabamentos e isolantes) e a possibilidade de diferentes combinações entre esses elementos, as propriedades térmicas foram calculadas separadamente nos módulos apresentados no capítulo anterior para posteriormente serem combinados. Para as resistências convectivas com o ar no interior e exterior foram usados os valores médios recomendados pela NBR 15220 que são:

$$R_{conv-int} = 0,13 \text{ ((m}^2 \cdot K)/W);$$

$$R_{conv-ext} = 0,04 \text{ ((m}^2 \cdot K)/W).$$

## 5.2. CRIAÇÃO DE SOFTWARE

Foi desenvolvido um software para que através dele o usuário possa combinar estes módulos rapidamente e obter os valores das propriedades térmicas da parede em questão, comparando com os requisitos da NBR15575 e verificando se será necessária alguma modificação de materiais e/ou geometria.

### 5.2.1. CRIAÇÃO DA INTERFACE E COMPONENTES

A interface foi criada a partir do programa MATLAB através do auxiliar *Graphical User Interface* (GUI).

A criação teve início com o desenvolvimento da interface com imagens para facilitação da entrada de dados pelo usuário.

Posteriormente foram utilizados mecanismos para coletar os dados de entrada da interface para variáveis manipuláveis dentro da linguagem de programação.

E, finalmente, as formulações para cada problema foi inserida para realização dos cálculos e posterior *display* dos resultados e *feedback*.

### 5.2.2. LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO

Posteriormente a tela de apresentação do programa. Apresenta-se uma nova tela com três categorias de escolha para o usuário. Ele terá que escolher um entre os materiais que estruturarão a parede, escolherá também um acabamento interior e um acabamento exterior. Depois disso ele estará pronto para clicar em próximo.

Caso o usuário tenha escolhido sistemas em *framing* que comumente é preenchido por algum tipo de isolante térmico em seu interior, ele será levado para uma próxima janela onde essa opção poderá ser escolhida, depois dessa escolha ele poderá finalizar para a exibição dos resultados. Caso ele tenha escolhido algum sistema em alvenaria, o encaminhamento será direto para os resultados.

A figura 34 é um fluxograma de como funcionará a lógica do programa.

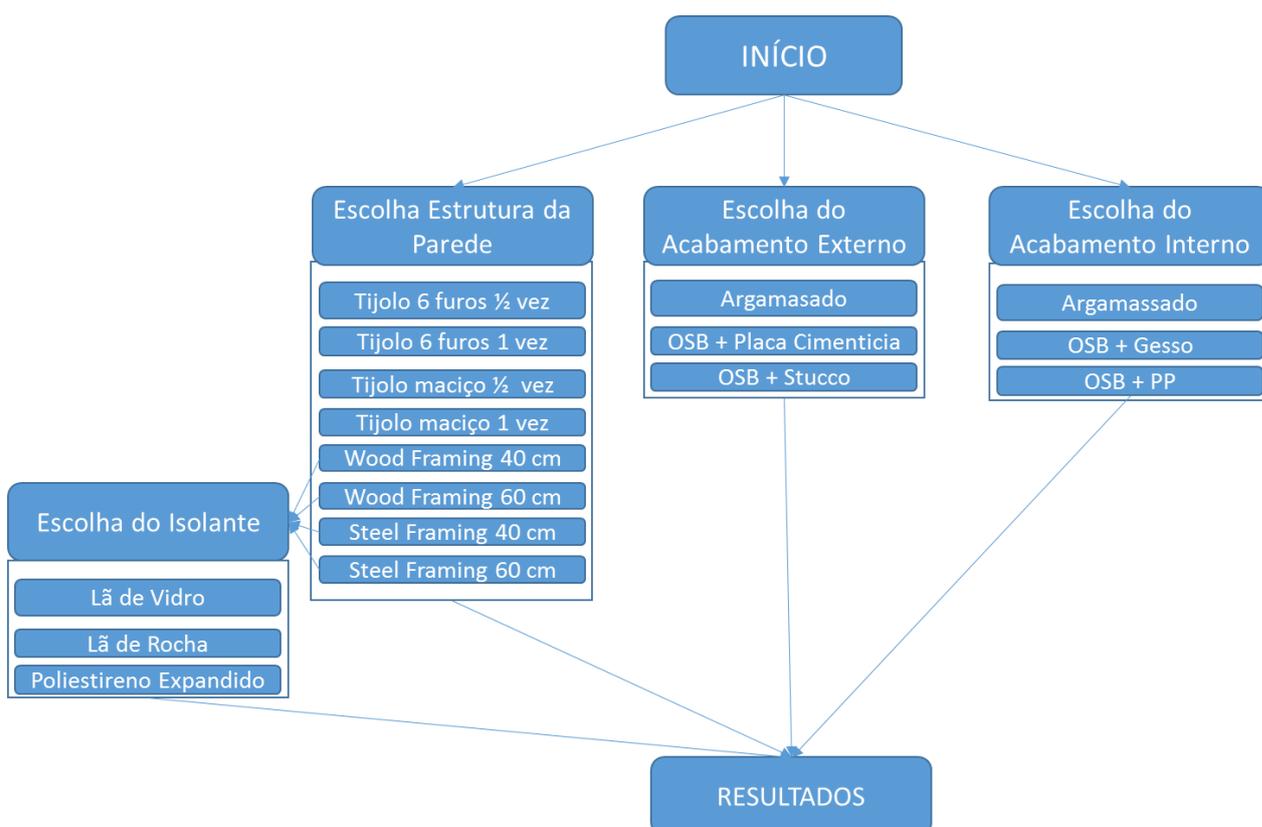


Figura 34: Fluxograma da lógica de programação

#### 5.2.4. REALIZAÇÃO DE TESTES PARA VALIDAÇÃO DO *SOFTWARE*

Após a finalização do *software* foram feitos alguns exemplos de dados de entrada. Foram, então, coletados os resultados. Os cálculos foram feitos também manualmente. (APÊNDICE B). Para a validação, os cálculos por ambos os métodos foram comparados.

#### 5.3. SIMULAÇÕES E COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES PAREDES

Para uma análise comparativa entre o desempenho térmico de paredes comumente utilizadas pelos dois métodos construtivos *wood-framing* e alvenaria algumas configurações de paredes foram testadas no software.

Configuração 1: Parede em alvenaria de tijolos de 6 furos assentados na configuração  $\frac{1}{2}$  vez com revestimento argamassado de 2,5 cm interior e exterior.

Configuração 2: Parede em alvenaria de tijolos de 6 furos assentados na configuração 1 vez com revestimento argamassado de 2,5 cm interior e exterior.

Configuração 3: Parede em alvenaria de tijolos maciços assentados na configuração  $\frac{1}{2}$  vez com revestimento argamassado de 2,5 cm interior e exterior.

Configuração 4: Parede em alvenaria de tijolos maciços assentados na configuração 1 vez com revestimento argamassado de 2,5 cm interior e exterior.

Configuração 5: Parede em *wood framing* com espaçamento de 40 cm entre perfis acabamento interno em OSB mais gesso cartonado, acabamento externo em OSB mais placa cimentícia.

Configuração 6: Parede em *wood framing* com espaçamento de 60 cm entre perfis acabamento interno em OSB mais gesso cartonado, acabamento externo em OSB mais placa cimentícia.

Configuração 7: Parede em *steel framing* com espaçamento de 40 cm entre perfis acabamento interno em OSB mais gesso cartonado, acabamento externo em OSB mais placa cimentícia.

Configuração 8: Parede em *steel framing* com espaçamento de 60 cm entre perfis acabamento interno em OSB mais gesso cartonado, acabamento externo em OSB mais placa cimentícia.

## 6 RESULTADOS

### 6.1. TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA PARA OS MÓDULOS

As estruturas das paredes em *framing* estão em paralelo com os isolantes, portanto a resistência e a capacidade térmica destes módulos ficarão em função do isolante escolhido. Então, foram desenvolvidas expressões dependentes da escolha do isolante para esses casos, apresentados a seguir:

*Wood Framing* com perfis de (44x90) mm e espaçamento de 40 cm:

$$R_{e+i} = \left( \frac{1}{\frac{1}{13,63636364} + \frac{1}{\frac{R_i}{0,4}}} \right) \cdot (0,444)$$

$$C_{e+i} = \frac{2,6532 + C_i \cdot 0,4}{0,444}$$

*Wood Framing* com perfis de (44x90) mm e espaçamento de 60 cm:

$$R_{e+i} = \left( \frac{1}{\frac{1}{13,63636364} + \frac{1}{\frac{R_i}{0,6}}} \right) \cdot (0,644)$$

$$C_{e+i} = \frac{2,6532 + C_i \cdot 0,6}{0,644}$$

*Steel framing* com guia em U de (92x40) mm e espaçamento de 40 cm:

$$R_{e+i} = \left( \frac{1}{\frac{1}{1,3090909} + \frac{1}{\frac{R_i}{0,4}}} \right) \cdot (0,40125)$$

$$C_{e+i} = \frac{0,387504 + C_i \cdot 0,4}{0,4012}$$

*Steel framing* com guia em U de (92x40) mm e espaçamento de 60 cm:

$$R_{e+i} = \left( \frac{1}{\frac{1}{1,3090909} + \frac{1}{\frac{R_i}{0,6}}} \right) \cdot (0,60125)$$

$$C_{e+i} = \frac{0,387504 + C_i \cdot 0,6}{0,6012}$$

Onde:

$R_{e+i}$  = resistência equivalente entre a estrutura e o isolante  $((m^2 \cdot K)/W)$ ;

$C_{e+i}$  = capacidade térmica equivalente entre a estrutura e o isolante  $(kJ/(m^2 \cdot K))$ ;

$R_i$  = resistência do isolante  $((m^2 \cdot K)/W)$ ;

$C_i$  = capacidade do isolante  $(kJ/(m^2 \cdot K))$ ;

Para os demais módulos das vedações verticais adotados foram calculados o valor numérico da resistência térmica e a capacidade térmica exibidos na Tabela (8). O memorial de cálculo para cada módulo encontra-se no apêndice A.

Tabela 8: Resistência e Capacidade Térmica de módulos de paredes

	Resistência Térmica $(m^2 \cdot K)/W$	Capacidade Térmica $kJ/(m^2 \cdot K)$
Estruturas		
Tijolo de 6 furos (9x14x19) cm assentado na menor dimensão (1/2 vez)	0,153072141	67,20528
Tijolo de 6 furos (9x14x19) cm assentado na dimensão intermediária (1 vez)	0,226841236	107,47616

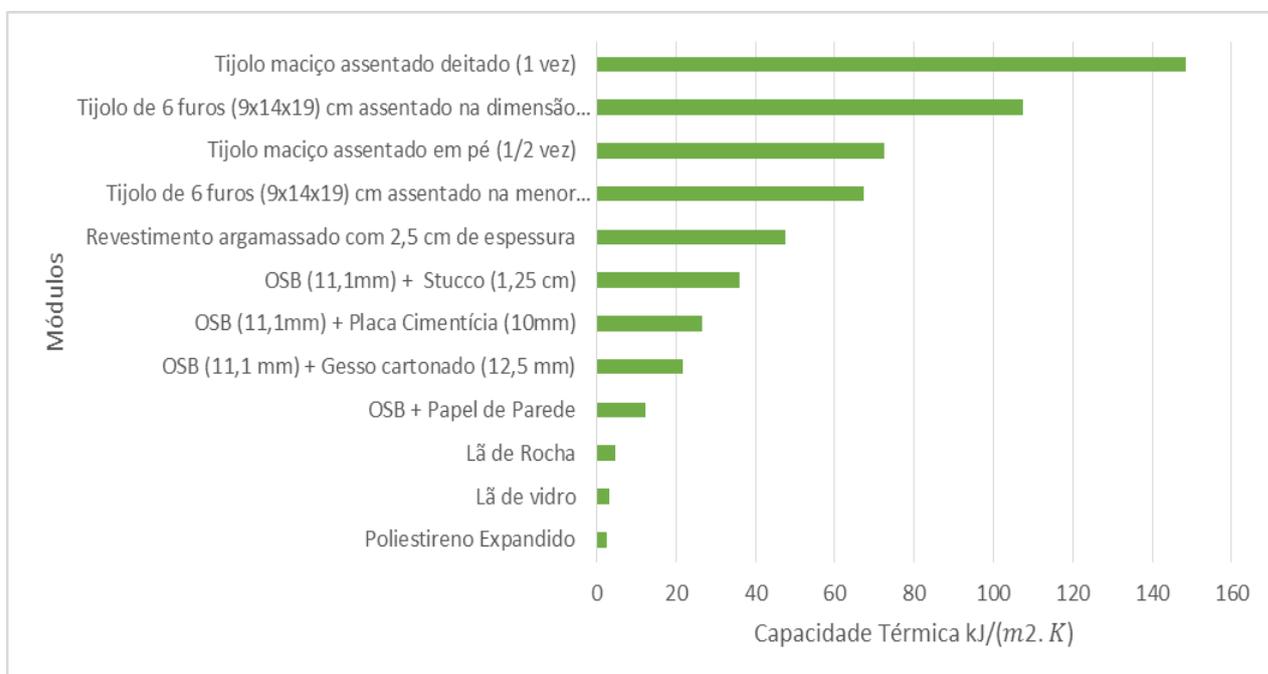
Tijolo maciço assentado deitado (1 vez)	0,105137395	148,636363
Tijolo maciço assentado em pé (1/2 vez)	0,053587245	72,438016
Acabamentos		
Revestimento argamassado com 2,5 cm de espessura	0,021739	47,5
OSB (11,1mm) + Placa Cimentícia (10mm)	0,1007692	26,5455
OSB (11,1mm) + <i>Stucco</i> (1,25 cm)	0,0962542	36,0155
OSB (11,1 mm) + Gesso cartonado (12,5 mm)	0,1210989	21,7155
OSB + Papel de Parede	0,0853846	12,2655
Isolantes		
Lã de vidro	2	3,15
Lã de Rocha	2	4,725
Poliestireno Expandido	2,25	2,556

Podemos observar através do gráfico de barras da Figura (35) a resistência térmica dos módulos classificada em uma ordem crescente.



**Figura 35: Resistência térmica dos módulos de paredes**

Logo em seguida na Figura (36) estão apresentados também a classificação dos módulos com maior capacidade térmica para os com as menores.



**Figura 36: Capacidade térmica dos módulos de paredes**

## 6.2. SOFTWARE PARA DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES

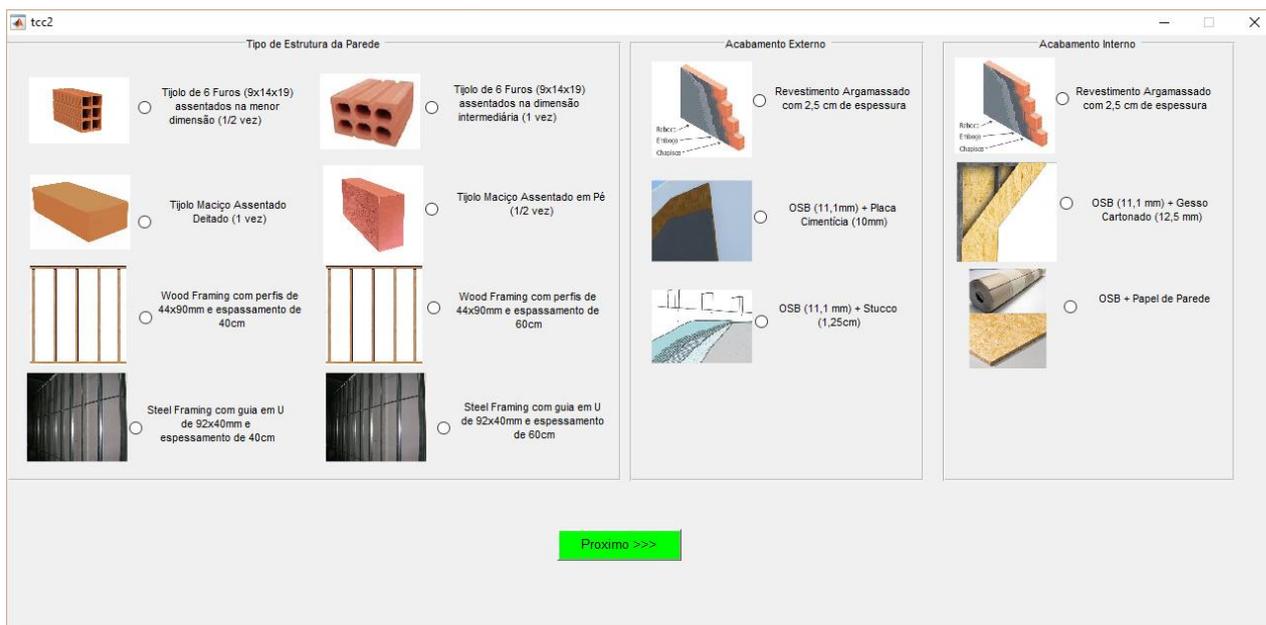
O software foi desenvolvido com o intuito de facilitar e fornecer uma alternativa rápida para a análise das propriedades térmicas de paredes e facilitar a escolha dos projetistas entre as diversas opções no mercado.

Na figura apresenta-se a tela inicial do programa por onde o objetivo é preparar o usuário para começar sua investigação.



Figura 37: Janela inicial do software

Clicando em iniciar, o programa direciona o usuário para uma segunda janela onde ele deverá selecionar clicando ao lado dos módulos disponíveis. São oito opções para a estrutura, e três, tanto para o acabamento interior, quanto para o exterior.



**Figura 38: Janela para seleção de estrutura e acabamentos interno e externo**

Após a seleção de um tipo de estrutura, um tipo de acabamento externo e um tipo de acabamento interno, caso o usuário tenha escolhido alguma opção de estrutura da parede em *wood* ou *steel framing* uma nova janela será criada onde terão três tipos de isolantes comumente utilizados no interior dessas paredes, após feita a escolha os resultados serão exibidos, caso a escolha tenha sido uma das alvenarias haverá um direcionamento direto para os resultados.



**Figura 39: Janela para seleção de isolante**

Por fim, a tela de resultados mostrará a transmitância e a capacidade térmica recomendadas pela NBR15575, assim como a transmitância e a capacidade térmica a partir dos dados de entrada. Conforme a comparação entre esses dois valores aparecerá

uma mensagem de atendimento ou não à norma. Ainda, caso esteja fora de norma o recado vem acompanhado de uma possível solução para o problema.

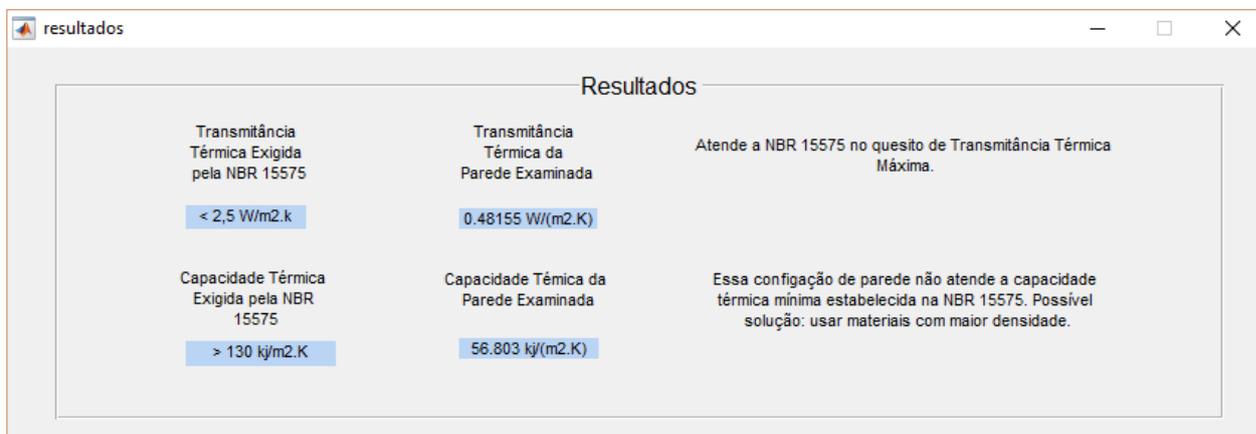


Figura 40: Janela de resultados

### 6.3. COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE PAREDES

As configurações de paredes listadas no item 5.3 foram simuladas no software e os resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Transmitância e Capacidade Térmica de Diferentes Configurações de Paredes

Configuração	Descrição	Transmitância $W/(m^2 \cdot K)$	Capacidade $kJ/(m^2 \cdot K)$
1	Parede em <i>wood framing</i> com espaçamento de 40 cm entre perfis acabamento interno em OSB mais gesso cartonado, acabamento externo em OSB mais placa cimentícia.	2,73	162,20
2	Parede em alvenaria de tijolos de 6 furos assentados na configuração 1 vez com revestimento argamassado de 2,5 cm interior e exterior.	2,27	202,48

3	Parede em alvenaria de tijolos maciços assentados na configuração ½ vez com revestimento argamassado de 2,5 cm interior e exterior.	3,74	167,44
4	Parede em alvenaria de tijolos maciços assentados na configuração 1 vez com revestimento argamassado de 2,5 cm interior e exterior.	3,14	243,64
5	Parede em <i>wood framing</i> com espaçamento de 40 cm entre perfis acabamento interno em OSB mais gesso cartonado, acabamento externo em OSB mais placa cimentícia e isolamento em lã de vidro.	0,49	57,07
6	Parede em <i>wood framing</i> com espaçamento de 60 cm entre perfis acabamento interno em OSB mais gesso cartonado, acabamento externo em OSB mais placa cimentícia e isolamento em lã de vidro.	0,47	55,32
7	Parede em <i>steel framing</i> com espaçamento de 40 cm entre perfis acabamento interno em OSB mais gesso cartonado, acabamento externo em OSB mais placa cimentícia e isolamento em lã de vidro.	1,24	52,37
8	Parede em <i>steel framing</i> com espaçamento de 60 cm entre perfis acabamento interno em OSB mais gesso	1,04	52,05

	cartonado, acabamento externo em OSB mais placa cimentícia e isolamento em lã de vidro.		
--	---	--	--

A Figura 41 ilustra o comportamento quanto a transmitância térmica das oito configurações de paredes estudadas. As barras em vermelho indicam as configurações que não atendem ao requisito da norma, as em verde as que atendem e a linha amarela indica a transmitância máxima exigida pela NBR15575.

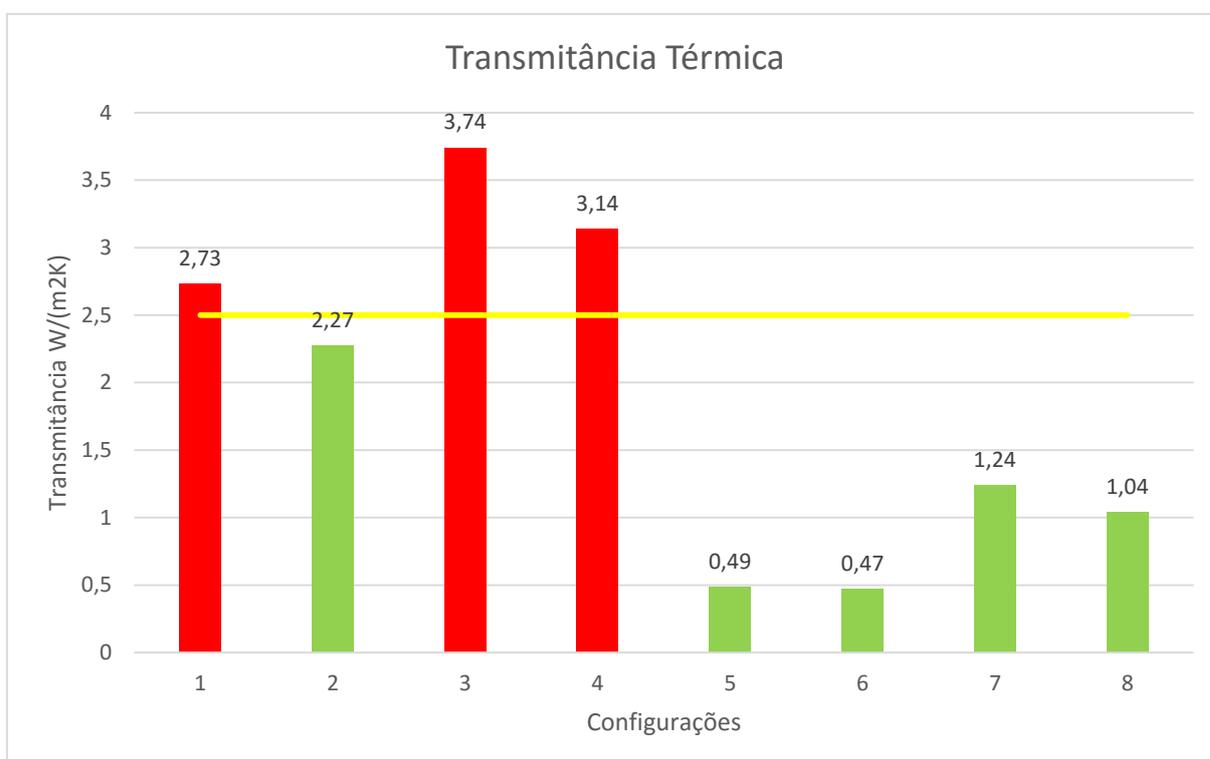


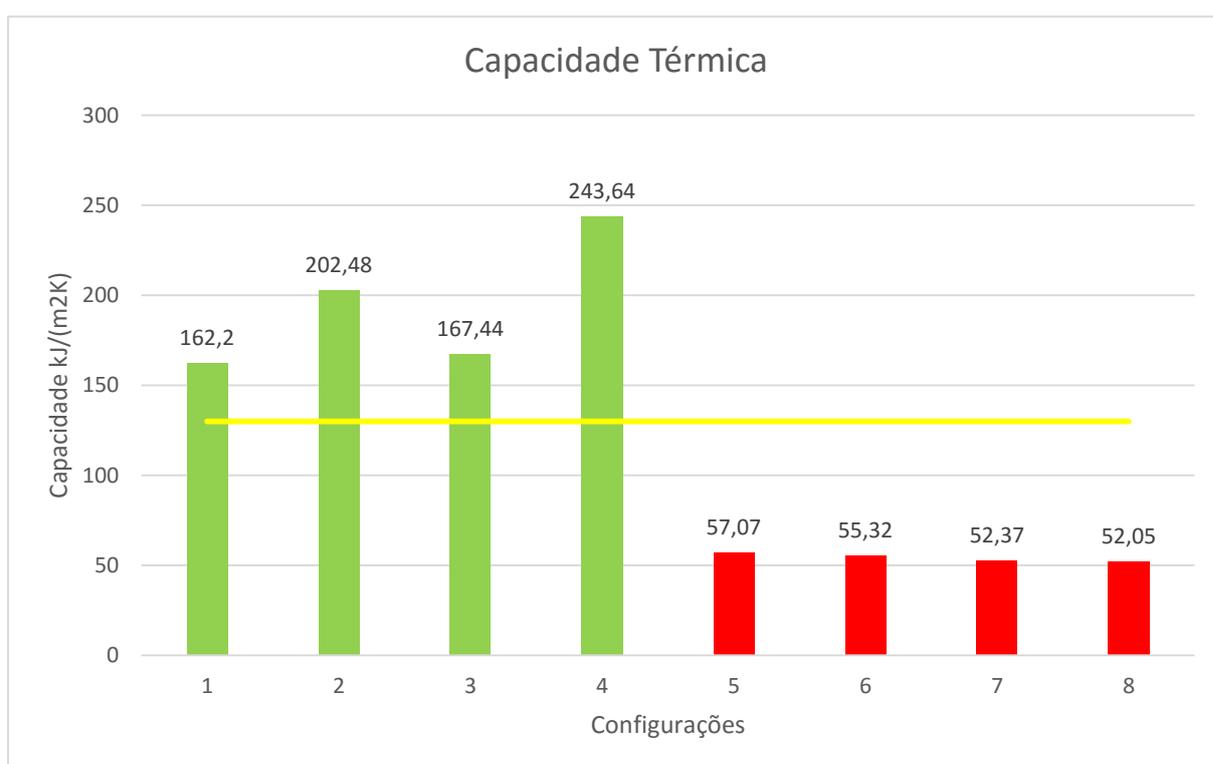
Figura 41: Transmitância térmica das diferentes configurações de paredes

Podemos perceber que os melhores comportamentos em relação a transmitância ocorrem nas configurações 5 e 6 que correspondem a paredes no sistema *wood framing*, isso ocorre porque todos os materiais componentes deste tipo de parede são bons isolantes (a madeira e o preenchimento em lã de vidro).

Em um segundo patamar estão as paredes formadas no estilo *steel framing* que ao passo que são preenchidas com o mesmo isolante (lã de vidro) elas possuem o componente estrutural em aço, ótimo condutor de calor, criando o que chamamos de ponte de calor e diminuindo a eficiência o isolamento térmico da parede.

Com transmitâncias críticas estão as paredes em alvenaria por comporem em seu todo de materiais não isolantes. O único caso que atende à norma dentre os exemplos é a parede de 1 vez em tijolos de 6 furos, isso se deve ao fato de sua maior espessura total da parede e à uma quantidade maior de furos que faz com que o ar ali confinado se torne um isolante.

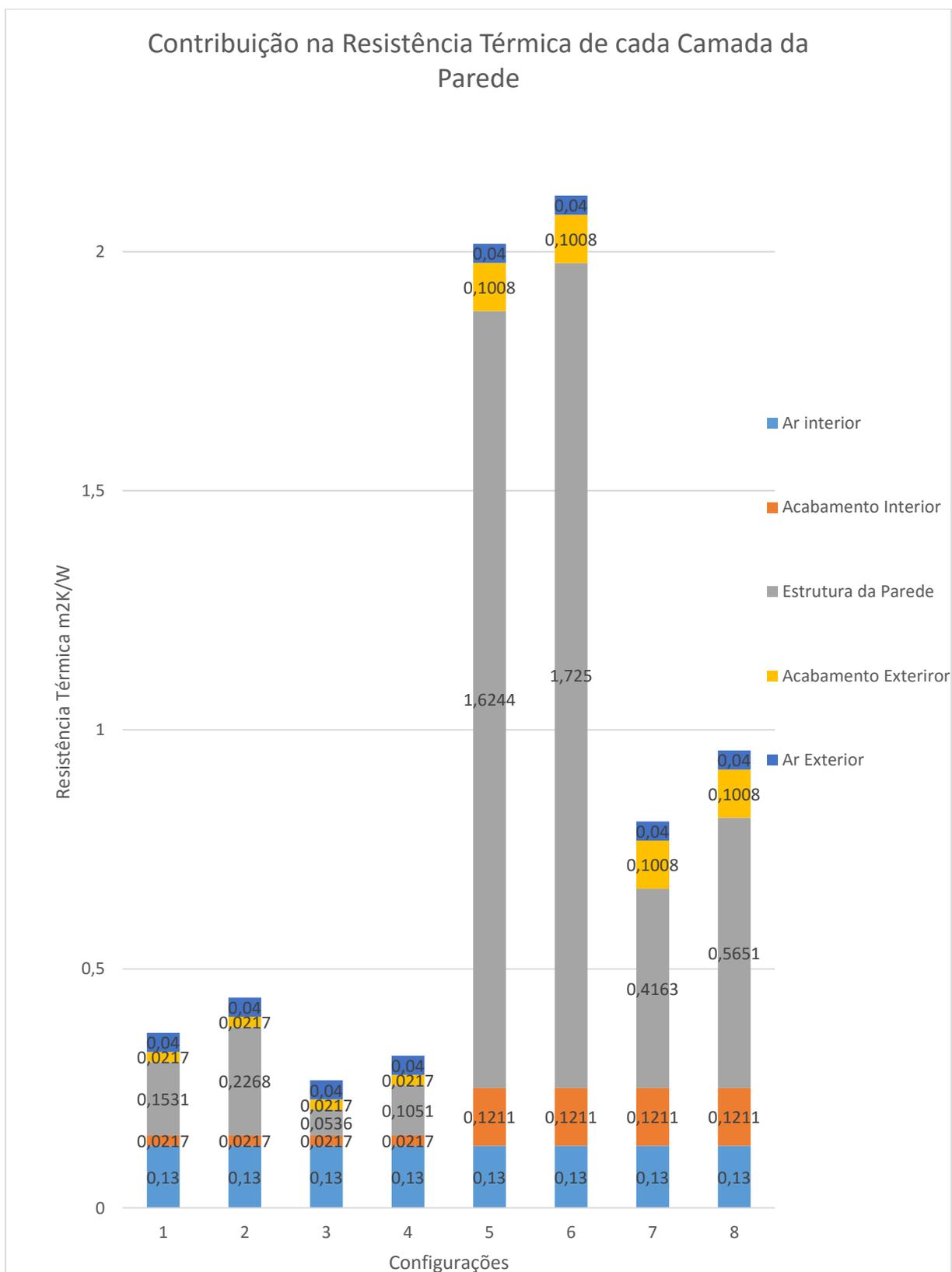
Já na Figura 42 ilustra o comportamento quanto a capacidade térmica das mesmas oito configurações. Seguindo o mesmo padrão, as barras em vermelho indicam as configurações que não atendem ao requisito da norma, as em verde as que atendem e nesse caso, a linha amarela indica a capacidade mínima exigida pela NBR15575.



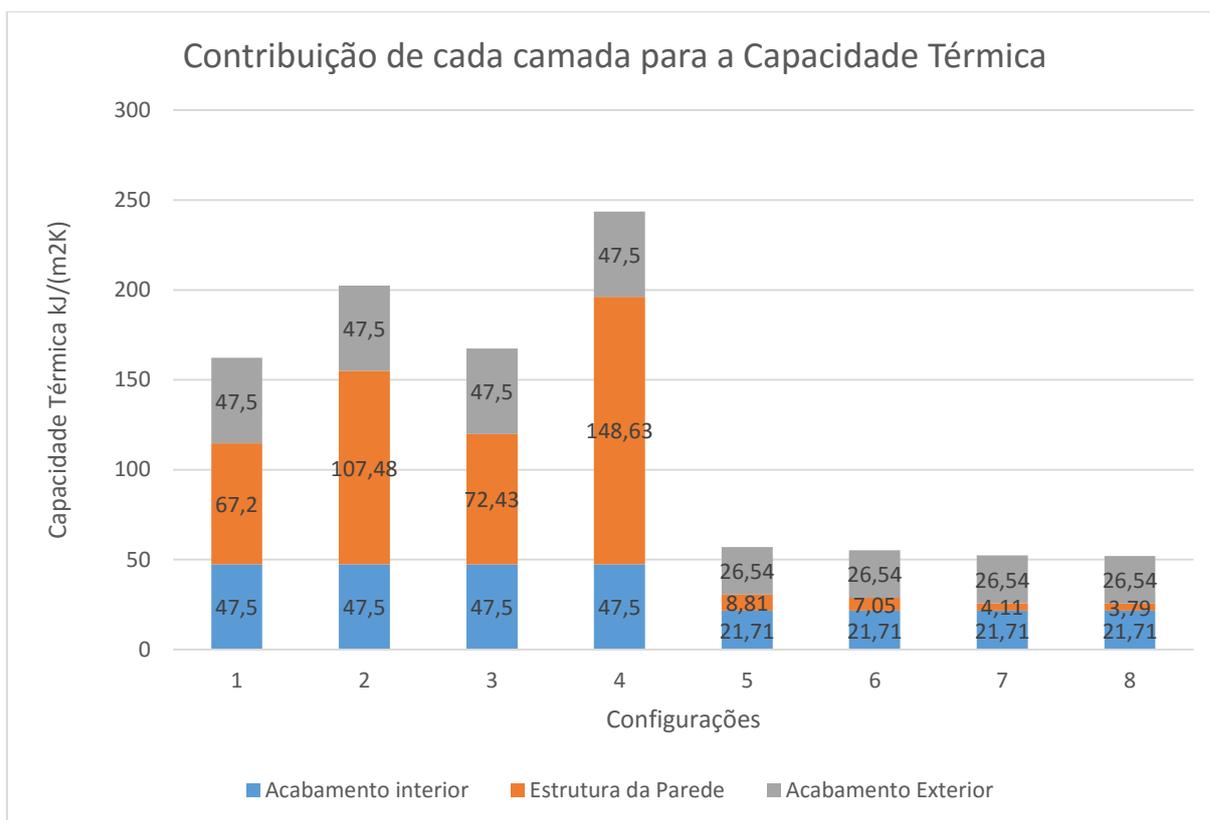
**Figura 42: Capacidade térmica das diferentes configurações de paredes**

Em relação à capacidade térmica, o quesito de maior influência está na massa específica do material. Podemos perceber pela Figura 41 que as paredes em alvenaria, componentes com densidade elevada, atendem ao requisito da norma enquanto as configurações em *wood* e *steel framing* não atendem.

Para tentar resolver o problema, pode-se pensar em intercalar as estruturas leves com os acabamentos com alta massa específica. As Figura 43 e 44 ilustram a contribuição de cada módulo em cada tipo de configuração de parede.



**Figura 43: Contribuição de cada camada para a Resistência Térmica**



**Figura 44: Contribuição de cada camada para a Capacidade Térmica**

### 6.3.1. PAREDE EM ALVENARIA VERSUS PAREDE EM *WOOD FRAMING*

A comparação entre os dois métodos construtivos torna-se complexa partindo do princípio que diversos tipos de estruturas de vedações com diferentes materiais podem ser concebidos para ambos os métodos. Porém analisando as alternativas mais usuais poderemos ter uma noção das características gerais para cada um dos dois tipos de construção.

Para os dois tipos de vedações verticais encontramos problemas no desempenho térmico, porém opostos.

Enquanto a alvenaria apresenta uma elevada transmitância térmica a parede em *wood framing* apresenta baixa capacidade térmica, ambas não respeitando os requisitos da NBR15575.

Isso se deve ao fato de que os materiais que compõem as paredes em alvenaria são pobres em isolamento térmico quando comparados com os componentes das vedações verticais para o sistema framing, mas que por outro lado tem alta densidade o que faz com

que haja um grande armazenamento térmico no interior antes que ocorra de fato a troca de calor, mas a partir do momento em que eles entrarem em equilíbrio com o meio a troca de calor será intensa.

No *wood framing* acontece o contrário, os materiais componentes desse tipo de estrutura são leves, com baixa densidade e não possuem essa propriedade de armazenar uma quantidade relevante de calor antes que as trocas comecem, mas eles têm a característica de serem isolantes criando uma barreira mais efetiva termicamente entre o interior e o exterior mesmo depois do equilíbrio.

Uma tentativa de melhora é mesclar materiais que tenham densidade elevada com materiais isolantes nas composições de paredes. Uma parede leve com perfis de madeiras poderia levar um acabamento argamassado de alta densidade ou uma parede com tijolos poderia receber um isolamento interior em lã de vidro ou até mesmo um acabamento com melhores características isolantes do que uma argamassa.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O software desenvolvido servirá para rápidas análises de alguns tipos de paredes de conformidade ou não com a norma e ficará disponível na instituição (UTFPR).

Com esse trabalho pode-se concluir que é necessária uma readaptação das estruturas de vedações verticais no geral para um maior aproveitamento das propriedades térmicas para que se atenda aos ambos requisitos mínimos no quesito térmico da norma de eficiência das edificações simultaneamente e para que seja atingida uma qualidade cada vez melhor de barreira isolante do meio exterior.

Para próximos trabalhos ficam propostos:

1. O estudo teórico de outras configurações de paredes;
2. Ensaio experimentais dos materiais para determinação dos coeficientes térmicos;
3. Ensaio experimentais de paredes em proporções reais de uso.

## 8 REFERÊNCIAS

Alvenaria de Tijolo Comum. 2009. Disponível em: < <http://www.projetosengenharia.com/alvenaria-tijolo-comum.php> >.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1 de 04/05:** Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, Símbolos e Unidades.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2 de 04/05:** Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3 de 04/05:** Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-4 de 04/05:** Desempenho térmico de edificações – Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-5 de 04/05:** Desempenho térmico de edificações – Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1 de 01/13:** Edificações Habitacionais – Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4 de 01/13:** Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6488 de 12/80:** Componentes de construção – Determinação da condutância e transmitância térmica – Método da caixa quente protegida.

BRANCO, J. P. **Manual do Pedreiro**. 1981.

BUSSAB, S.; CURY, F. J. **Manual Técnico de Alvenaria: Arquitetura** 1990.

CERCHIARI, F. Construir Minas: Chega a Minas Gerais argamassa que está revolucionando a construção de paredes no Brasil. **Falando de Feiras**, 2011. Disponível em: < <http://www.falandodefeiras.info/2011/08/construir-minas-chega-minas-gerais.html> >.

\_\_\_\_\_. Construção sustentável foi um dos temas da Construction Expo 2013. **Falando de Feiras**, 2013. Disponível em: <

<http://www.falandodefeiras.info/2013/06/construcao-sustentavel-foi-um-dos-temas.html> >.

ÇENGEL, Y. A. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**. 5. 2009.

Ecovilas - Parede de Taipa. 2003. Disponível em: <  
[http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos\\_2003-1/ecovilas/](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2003-1/ecovilas/) >.

Ecovilas: Pau-a-pique. 2003. Disponível em: <  
[http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos\\_2003-1/ecovilas/pau\\_a\\_pique.htm](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2003-1/ecovilas/pau_a_pique.htm) >.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. 2001.

GIGLIO, T. G. F. **Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina - PR**. 2005. Construção Civil, Universidade Estadual de Londrina.

Histórico de ventilação. 2003. Disponível em: <  
[http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos\\_2003-1/ventilacao/historico.htm](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2003-1/ventilacao/historico.htm) >.

INCROPERA. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 4. 2007.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura** 1997.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente**. 2004. Disponível em: <  
[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente\\_vol\\_II\\_WEB.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_II_WEB.pdf) >.

LIENHARD IV, J.H.; LIENHARD V, J.H. **A Heat Transfer Textbook**. 4. 2015.

LIM, E. A Brief History of Wood-Frame Construction. 2011. Disponível em: <  
<http://www.gather.com/viewArticle.action?articleId=281474979249500> >.

MARQUES, D. Processos de propagação de calor: Estudo da propagação de calor. **Brasil Escola**, 2009. Disponível em: < <http://www.brasilecola.com/fisica/processo-propagacao-calor.htm> >.

NERBAS, P. D. F. **Estudo Arquitetônico para Gestores Imobiliários**. 2008.

OLIVEIRA, N. C. **Manual Técnico de Alvenaria: Fases da Alvenaria e Pioneirismo do Manual**. 1990.

Pedras de cantarias e degraus em pedra calcária antigas. 2014. Disponível em: <  
<http://saobrasdealportel.olx.pt/pedras-de-cantarias-e-degraus-em-pedra-calcaria-antigas-iid-440655693> >.

**Resenha: Mensal do Mercado de Energia Elétrica**. 64 2012.

RODRIGUES, H.; SANTOS, C. Vila de Alpedrinha. 2010. Disponível em: <  
<http://autoandrive.com/2010/06/13/vila-de-alpedrinha/> >.

RSVIRTUD REPRESENTAÇÕES LTDA. 2014. Disponível em: <  
<http://www.rsvirtud.com.br/site/19/pg5.asp> >.

RUPP, R. F. **Análise da Transferência de Calor em Paredes compostas por tijolos Maciços**. 2009. UNIJUI

SACCO, M. D. F.; STAMATO, G. C. **Light wood frame - construções com estrutura leve de madeira**. Téchne 2008.

SILVA, R. G.; TAMASHIRO, T. B. **Análise da Viabilidade Técnica e Econômica do sistema construtivo *Wood Frame* para Habitações de interesse social** 2010.

## APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE CADA MÓDULO DE PAREDE

### RESISTÊNCIAS PARA MÓDULOS DA ESTRUTURA DA PAREDE

Tijolo de 6 furos (9x14x19) cm assentado na menor dimensão (1/2 vez)

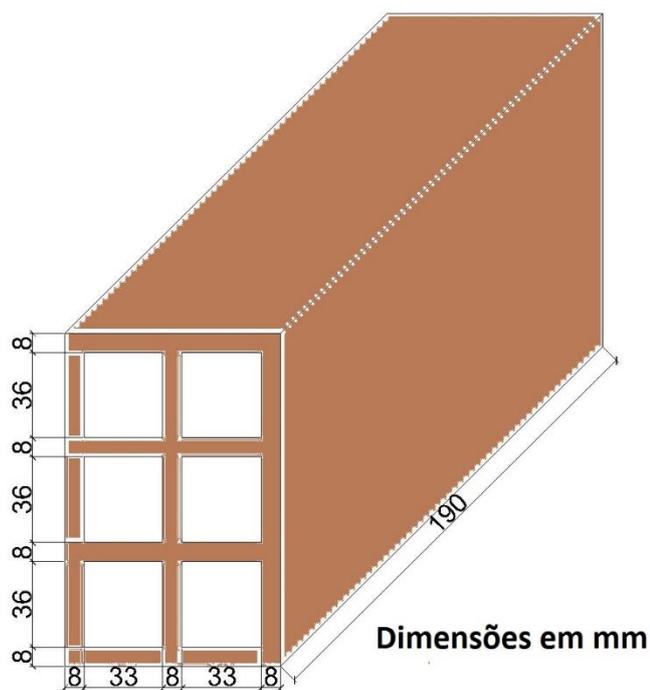


Figura 45: Geometria do aproximada do tijolo (9x14x19) ½ vez

$$k_{ar} = 0,3125 \text{ (LIENHARD IV, 2015)}$$

$$e_f = 0,033$$

$$A_f = 3 \cdot 0,036 \cdot 0,19$$

$$A_f = 0,02052$$

$$R_f = \frac{0,033}{0,3125 \cdot 0,02052}$$

$$R_f = 5,1461988 \text{ K/W}$$

Onde:

$k_{ar}$  = condutibilidade do ar confinado (W/(m.K));

$e_f$  = espessura do furo (m);

$A_f$  = área do furo perpendicular ao fluxo de calor ( $m^2$ );

$R_f$  = resistência térmica do furo (K/W).

$k_c = 0,9$  (NBR 15220)

$e_{c/f} = 0,033$

$A_{c/f} = 4 \cdot 0,008 \cdot 0,19$

$A_{c/f} = 0,00608$

$$R_{c/f} = \frac{0,033}{0,9 \cdot 0,00608}$$

$$R_{c/f} = 6,0307017 \text{ K/W}$$

Onde:

$k_c$  = condutibilidade da cerâmica (W/(m.K));

$e_{c/f}$  = espessura da cerâmica em paralelo com os furos (m);

$A_{c/f}$  = área perpendicular ao fluxo de calor ( $m^2$ );

$R_{c/f}$  = resistencia da camada de cerâmica em paralelo com os furos (K/W).

$$\frac{1}{R_{f+c/a}} = \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_{c/a}}$$

$$R_{f+c/a} = 2,776725967 \text{ K/W}$$

Onde:

$R_{f+c/a}$  = resistência paralela equivalente entre os furos e a cerâmica (K/W).

$e_c = 0,008$

$$A_c = 0,14 \cdot 0,19$$

$$A_c = 0,0266$$

$$R_c = \frac{0,008}{0,9 \cdot 0,0266}$$

$$R_c = 0,334168755 \text{ K/W}$$

Onde:

$e_c$  = espessura da cerâmica em paralelo com os furos (m);

$A_c$  = área da cerâmica perpendicular ao fluxo de calor ( $m^2$ );

$R_c$  = resistência da parede de cerâmica (K/W).

$$R_{tijolo} = R_c + R_{f+c/a} + R_c + R_{fr+c/a} + R_c$$

$$R_{tijolo} = 6,55559$$

Onde:

$R_{tijolo}$  = resistência equivalente em série total do tijolo (K/W) (Para a área total do tijolo perpendicular ao fluxo de calor).

$$k_{arg} = 1,15$$

Considerando a espessura de 1cm tanto em cima quanto dos lados dos tijolos, temos:

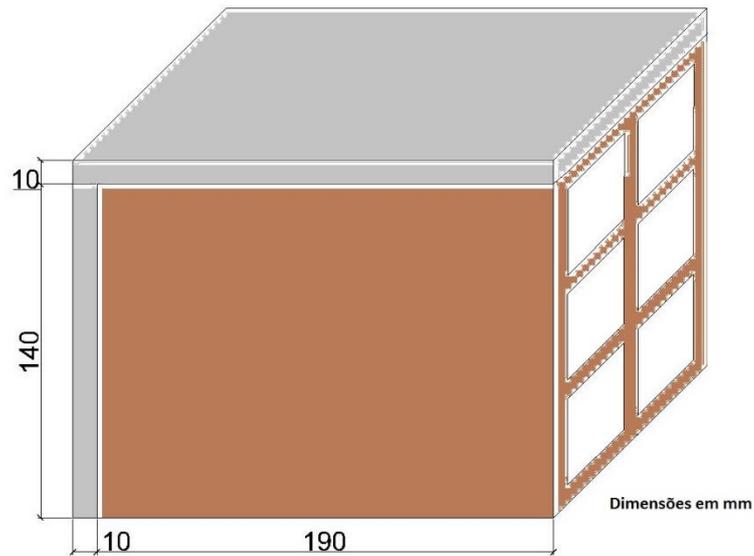


Figura 46: Dimensões da área perpendicular ao fluxo de calor tijolo (9x14x19) ½ vez

$$A_{aa} = 0,15 \cdot 0,01 + 0,19 \cdot 0,01$$

$$A_{aa} = 0,0034$$

$$R_{aa} = \frac{0,09}{1,15 \cdot 0,0034}$$

$$R_{aa} = 23,0179 \text{ K/W}$$

$k_{arg}$  = condutibilidade da argamassa (W/(m.K));

$A_{aa}$  = área perpendicular ao fluxo de calor ( $m^2$ );

$R_{aa}$  = resistência da argamassa de assentamento (K/W).

$$\frac{1}{R_{t+aa}} = \frac{1}{R_t} + \frac{1}{R_{aa}}$$

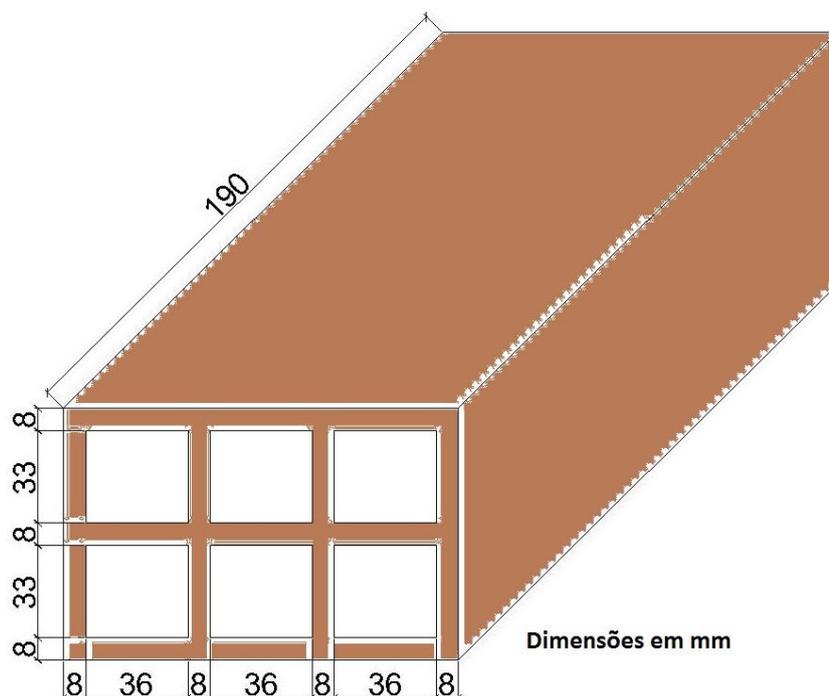
$$R_{t+aa} = 5,1024047$$

$R_{t+aa}$  = resistência equivalente em paralelo entre o tijolo e a argamassa de assentamento (Para uma área total da argamassa de assentamento mais do tijolo perpendicular ao fluxo de calor) (K/W).

Para voltarmos a calcular a resistência por metro quadrado de parede é necessário multiplicar pela área total perpendicular ao fluxo da argamassa de assentamento mais do tijolo, então:

$$R_{t+aa} = 5,1024047 \cdot (0,0266 + 0,0034) = 0,153072141 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**Tijolo de 6 furos (9x14x19) cm assentado na dimensão intermediária (1 vez)**



**Figura 47: Geometria aproximada do tijolo (9 x 14 x 19) 1 vez**

$$e_f = 0,036$$

$$A_f = 2 \cdot 0,033 \cdot 0,19$$

$$A_f = 0,01254$$

$$R_f = \frac{0,036}{0,3125 \cdot 0,01254}$$

$$R_f = 9,1866029 \text{ K/W}$$

$$A_{c/f} = 3 \cdot 0,008 \cdot 0,19$$

$$A_{c/f} = 0,00456$$

$$R_{c/a} = \frac{0,036}{0,9 \cdot 0,00456}$$

$$R_{c/a} = 8,7719298 \text{ K/W}$$

$$\frac{1}{R_{f+c/a}} = \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_{c/a}}$$

$R_{f+c/a} = 4,4872394 \text{ K/W}$  (Para a área total do tijolo perpendicular ao fluxo de calor)

$$A_c = 0,09 \cdot 0,19$$

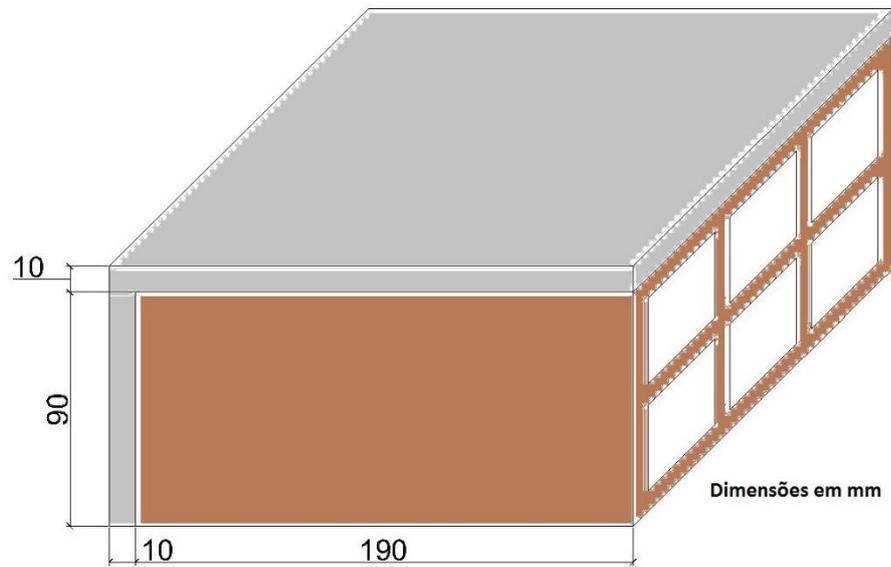
$$A_c = 0,0171$$

$$R_c = \frac{0,008}{0,9 \cdot 0,0171}$$

$$R_c = 0,5198181 \text{ K/W}$$

$$R_{tijo} = R_c + R_{ar+c/a} + R_c + R_{ar+c/a} + R_c + R_{ar+c/a} + R_c$$

$$R_{tijo} = 15,5409906 \text{ K/W}$$



**Figura 48: Dimensões da área perpendicular ao fluxo de calor tijolo (9x14x19) 1 vez**

$$A_{aa} = 0,1 \cdot 0,01 + 0,19 \cdot 0,01$$

$$A_{aa} = 0,0029$$

$$R_{aa} = \frac{0,14}{1,15 \cdot 0,0029}$$

$$R_{aa} = 41,979011 \text{ K/W}$$

$$\frac{1}{R_{t+aa}} = \frac{1}{R_t} + \frac{1}{R_{aa}}$$

$$R_{t+aa} = 11,34206184$$

Para voltarmos a calcular a resistência por metro quadrado de parede é necessário multiplicar por essa área, então:

$$R_{t+aa} = 11,34206184 \cdot (0,0171 + 0,0029) = 0,226841236 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**Tijolo maciço assentado deitado (10 x 21 x 5) cm (1 vez)**

Resistência do tijolo ( $k = 0,9$ )

Área perpendicular ao fluxo de calor =  $0,05 \cdot 0,21 = 0,0105$

$$R_t = \frac{0,1}{0,9 \cdot 0,0105}$$

$$R_t = 10,58201058 \text{ K/W}$$

Resistência da argamassa de assentamento

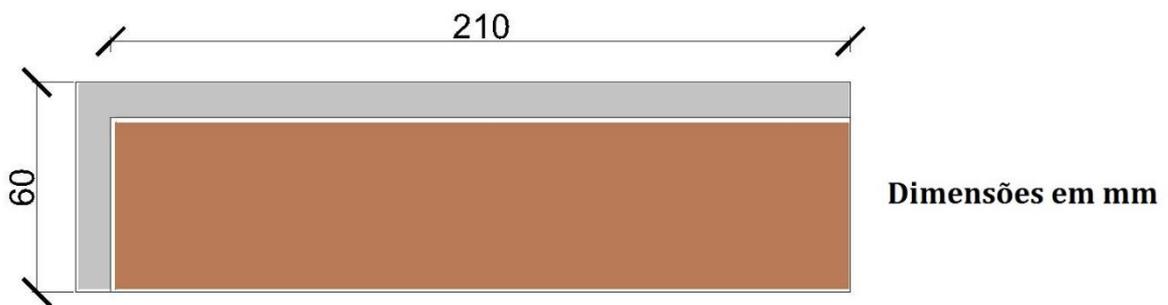


Figura 49: Dimensões da área perpendicular ao fluxo de calor tijolo maciço 1 vez

$$\text{Área perpendicular ao fluxo de calor} = 0,06 \cdot 0,01 + 0,21 \cdot 0,01 = 0,0027$$

$$R_{aa} = \frac{0,1}{1,15 \cdot 0,0027}$$

$$R_{aa} = 32,20611916 \text{ K/W}$$

Resistência equivalente em paralelo entre o tijolo e a argamassa de assentamento

$$\frac{1}{R_{t+aa}} = \frac{1}{R_t} + \frac{1}{R_{aa}}$$

$R_{t+aa} = 7,9649542$  (Para uma área total da argamassa de assentamento mais do tijolo perpendicular ao fluxo de calor)

Para voltarmos a calcular a resistência por metro quadrado de parede é necessário multiplicar por essa área, então:

$$R_{t+aa} = 7,9649542 \cdot (0,0105 + 0,0027) = 0,105137395 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**Tijolo maciço assentado em pé (1/2 vez) (10 x 21 x 5)**

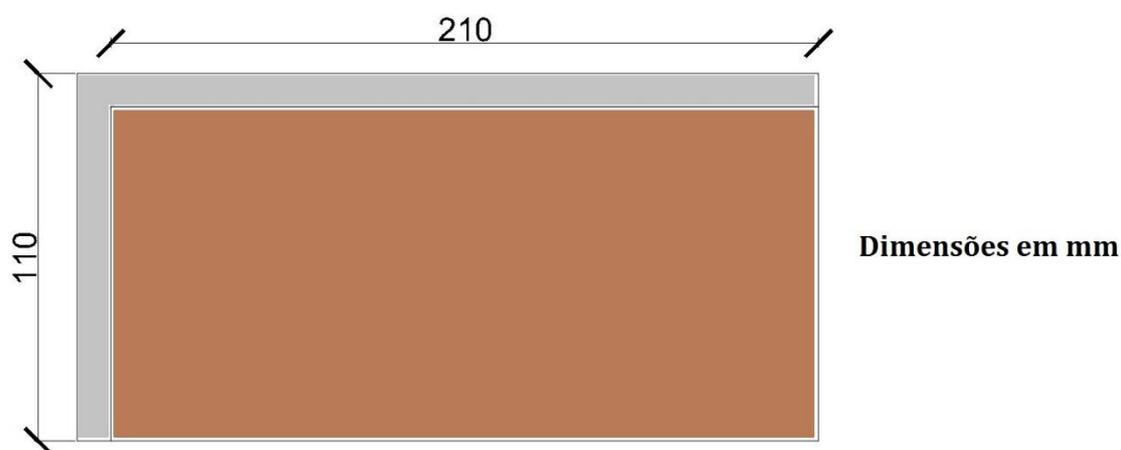
Resistência do tijolo ( $k = 0,9$ )

Área perpendicular ao fluxo de calor =  $0,1 \cdot 0,21 = 0,021$

$$R_t = \frac{0,05}{0,9 \cdot 0,021}$$

$$R_t = 2,645502646 \text{ K/W}$$

Resistência da argamassa de assentamento



**Figura 50: Dimensões da área perpendicular ao fluxo de calor maciço ½ vez**

Área perpendicular ao fluxo de calor =  $0,11 \cdot 0,01 + 0,21 \cdot 0,01 = 0,0032 \text{ m}^2$

$$R_{aa} = \frac{0,05}{1,15 \cdot 0,0032}$$

$$R_{aa} = 13,58695652 \text{ K/W}$$

Resistência equivalente em paralelo entre o tijolo e a argamassa de assentamento

$$\frac{1}{R_{t+aa}} = \frac{1}{R_t} + \frac{1}{R_{aa}}$$

$R_{t+aa} = 2,214348982$  (Para uma área total da argamassa de assentamento mais do tijolo perpendiculares ao fluxo de calor)

Para voltarmos a calcular a resistência por metro quadrado de parede é necessário multiplicar por essa área, então:

$$R_{t+aa} = 2,214348982 \cdot (0,021 + 0,0032) = 0,053587245 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**Wood Framing** com perfis de (44x90) mm e espaçamento de 40 cm

Resistência do perfil de pinus ( $k = 0,15$ )

Área perpendicular ao fluxo de calor considerando uma altura de 1m =  $0,044 \cdot 1 = 0,044$

$$R_p = \frac{0,09}{0,15 \cdot 0,044}$$

$$R_p = 13,63636364 \text{ K/W}$$

Resistencia isolante

$$R_i = \frac{R_{iesp}}{0,4}$$

Nesse caso a resistência ficará em função da resistência de um dos isolantes que poderão ser escolhidos no programa, o cálculo da resistência de cada um será feito na sequencia deste trabalho.

Resistência equivalente em paralelo entre o perfil de madeira e o isolante

$$\frac{1}{R_{p+i}} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_i}$$

$$R_{p+i} = \frac{1}{\frac{1}{13,63636364} + \frac{1}{R_i}}$$

Para voltarmos a calcular a resistência por metro quadrado de parede é necessário multiplicar pela área, então:

$$R_{p+i} = \left( \frac{1}{\frac{1}{13,63636364} + \frac{1}{\frac{R_{iesp}}{0,4}}} \right) \cdot (0,444)$$

**Wood Framing** com perfis de (44x90) mm e espaçamento de 60 cm

Resistência do perfil de pinus ( $k = 0,15$ )

Área perpendicular ao fluxo de calor considerando uma altura de 1m =  $0,044 \cdot 1 = 0,044$

$$R_p = \frac{0,09}{0,15 \cdot 0,044}$$

$$R_p = 13,63636364 \text{ K/W}$$

Resistencia isolante

$$R_i = \frac{R_{iesp}}{0,6}$$

Nesse caso a resistência ficará em função da resistência de um dos isolantes que poderão ser escolhidos no programa, o cálculo da resistência de cada um será feito na sequencia deste trabalho.

Resistência equivalente em paralelo entre o perfil de madeira e o isolante

$$\frac{1}{R_{p+i}} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_i}$$

$$R_{p+i} = \frac{1}{\frac{1}{13,63636364} + \frac{1}{R_i}}$$

Para voltarmos a calcular a resistência por metro quadrado de parede é necessário multiplicar pela área, então:

$$R_{p+i} = \left( \frac{1}{\frac{1}{13,63636364} + \frac{1}{\frac{R_{iesp}}{0,6}}} \right) \cdot (0,644)$$

### ***Steel framing* com guia em U de (92x40) mm e espaçamento de 40 cm**

Para o caso dos perfis em U vamos desconsiderar as abas em relação a transferência de calor, segundo a bibliografia as espessuras dos perfis variam entre 0,8 e 1,25 mm. Como metal é um bom condutor e o isolante que está em paralelo com ele não, consideraremos a espessura de 1,25 para os perfis que darão a condição mais crítica no sentido de condutância.

Resistência do perfil (k = 55)

$$R_{aço} = \frac{0,09}{55 \cdot 0,00125}$$

$$R_{aço} = 1,3090909 \text{ K/W}$$

Resistencia isolante

$$R_i = \frac{R_{iesp}}{0,4}$$

Nesse caso a resistência ficará em função da resistência de um dos isolantes que poderão ser escolhidos no programa, o cálculo da resistência de cada um será feito na sequencia deste trabalho.

Resistência equivalente em paralelo entre o perfil de madeira e o isolante

$$\frac{1}{R_{p+i}} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_i}$$

$$R_{p+i} = \frac{1}{\frac{1}{1,3090909} + \frac{1}{R_i}}$$

Para voltarmos a calcular a resistência por metro quadrado de parede é necessário multiplicar pela área, então:

$$R_{p+i} = \left( \frac{1}{\frac{1}{1,3090909} + \frac{1}{\frac{R_{iesp}}{0,4}}} \right) \cdot (0,40125)$$

**Steel framing com guia em U de (92x40) mm e espaçamento de 60 cm**

Segue a o mesmo princípio para com o espaçamento de 40cm, unicamente mudando a área do isolante em relação ao perfil e também a área total, segue:

$$R_{p+i} = \left( \frac{1}{\frac{1}{1,3090909} + \frac{1}{\frac{R_{iesp}}{0,6}}} \right) \cdot (0,60125)$$

## RESISTÊNCIAS PARA MÓDULOS DE ACABAMENTOS

**Revestimento argamassado com 2,5cm de espessura.**

(k = 1,15)

$$R_{r,arg} = \frac{e}{kA}$$

$$R_{r,arg} = \frac{0,025}{1,15 \cdot 1}$$

$$R_{r,arg} = 0,021739$$

**OSB + Placa Cimentícia**

OSB espessura 11,1mm (k = 0,13)

$$R_{OSB} = \frac{0,0111}{0,13 \cdot 1}$$

$$R_{OSB} = 0,0853846$$

Placa Cimetícia 10mm  $\rho = 1700 \text{ kg/m}^3$  ( $k = 0,65$ ) ( $c = 0,84$ )

$$R_{PCi} = \frac{0,01}{0,65 \cdot 1}$$

$$R_{PCi} = 0,0153846$$

Totalizando:

$$R_{OSB+PCi} = 0,0853846 + 0,0153846$$

$$R_{OSB+PCi} = 0,1007692$$

### **OSB + Gesso cartonado**

Gesso cartonado 12,5 mm ( $k = 0,35$ ) ( $c = 0,84$ )

$$R_G = \frac{0,0125}{0,35 \cdot 1}$$

$$R_G = 0,0357143$$

$$R_{OSB+G} = 0,0853846 + 0,0357143$$

$$R_{OSB+G} = 0,1210989$$

### **OSB + Stucco**

Stucco 1,25 cm ( $k = 1,15$ )

$$R_S = \frac{0,0125}{1,15 \cdot 1}$$

$$R_S = 0,0108696$$

$$R_{OSB+S} = 0,0853846 + 0,0108696$$

$$R_{OSB+S} = 0,0962542$$

**OSB + Papel de parede ou somente pintura**

Considerando o papel de parede com espessura muito pequena, unicamente o OSB contribuirá com a resistência.

**RESISTÊNCIAS PARA MÓDULOS DE ISOLANTES****Lã de Vidro**

( $k = 0,045$ )

$$R_{LV} = \frac{0,09}{0,045 \cdot 1}$$

$$R_{LV} = 2$$

**Lã de Rocha**

( $k = 0,045$ )

$$R_{LR} = \frac{0,09}{0,045 \cdot 1}$$

$$R_{LR} = 2$$

**Poliestireno Expandido**

$$R_{PE} = \frac{0,09}{0,040 \cdot 1}$$

$$R_{PE} = 2,25$$

**CAPACIDADE TÉRMICA PARA MÓDULOS DA ESTRUTURA DA PAREDE**

$$C_T = \rho \cdot c \cdot e \quad (J/(m^2 \cdot K)) \quad (11)$$

**Tijolo de 6 furos (9x14x19) cm assentado na menor dimensão (1/2 vez)**

A capacidade térmica do ar será desconsiderada por ele ter uma densidade muito baixa.

Capacidade da camada de cerâmica em paralelo com os furos  $c = 0,92$   $\rho = 1500$

Área perpendicular ao fluxo de calor =  $4 \cdot 0,008 \cdot 0,19 = 0,00608$

$$C_{Tc/a} = 1500 \cdot 0,92 \cdot 0,033 \cdot 0,00608$$

$$C_{Tc/a} = 0,2768832 \text{ J/K}$$

Capacidade para a parede de cerâmica:

$$C_c = 1500 \cdot 0,92 \cdot 0,008 \cdot (0,19 \cdot 0,14)$$

$$C_c = 0,293664 \text{ J/K}$$

Capacidade Total do tijolo

$$C_T = 3 \cdot C_c + 2 \cdot C_{Tc/a}$$

$$C_T = 1,4347584 \text{ J/K}$$

Capacidade da argamassa de assentamento ( $\rho = 1900$ )  $c = 1$

Área perpendicular ao fluxo de calor =  $0,15 \cdot 0,01 + 0,19 \cdot 0,01 = 0,0034 \text{ m}^2$

$$C_{aa} = 1900 \cdot 1 \cdot 0,09 \cdot 0,0034$$

$$C_{aa} = 0,5814 \text{ J/K}$$

Capacidade total do tijolo mais a argamassa de assentamento

$$C_{T+aa} = C_T + C_{aa}$$

$$C_{T+aa} = 2,0161584 \text{ J/K}$$

Para o cálculo da capacidade por metro quadrado dividiremos pela área total

$$C_{T+aa} = \frac{2,0161584}{(0,19 \cdot 0,14) + 0,0034}$$

$$C_{T+aa} = 67,20528 \text{ (J/(m}^2 \cdot \text{K))}$$

**Tijolo de 6 furos (9x14x19) cm assentado na dimensão intermediária (1 vez)**

A capacidade térmica do ar será desconsiderada por ele ter uma densidade muito baixa.

Capacidade da camada de cerâmica em paralelo com os furos  $c = 0,92$   $\rho = 1500$

Área perpendicular ao fluxo de calor =  $3 \cdot 0,008 \cdot 0,19 = 0,00456$

$$C_{Tc/a} = 1500 \cdot 0,92 \cdot 0,033 \cdot 0,00456$$

$$C_{Tc/a} = 0,2076624 \text{ J/K}$$

Capacidade para a parede de cerâmica:

$$C_c = 1500 \cdot 0,92 \cdot 0,008 \cdot (0,19 \cdot 0,09)$$

$$C_c = 0,188784 \text{ J/K}$$

Capacidade Total do tijolo

$$C_T = 4 \cdot C_c + 3 \cdot C_{Tc/a}$$

$$C_T = 1,3781232 \text{ J/K}$$

Capacidade da argamassa de assentamento ( $\rho = 1900$ )  $c = 1$

Área perpendicular ao fluxo de calor =  $0,1 \cdot 0,01 + 0,19 \cdot 0,01 = 0,0029 \text{ m}^2$

$$C_{aa} = 1900 \cdot 1 \cdot 0,14 \cdot 0,0029$$

$$C_{aa} = 0,7714 \text{ J/K}$$

Capacidade total do tijolo mais a argamassa de assentamento

$$C_{T+aa} = C_T + C_{aa}$$

$$C_{T+aa} = 2,1495232 \text{ J/K}$$

Para o cálculo da capacidade por metro quadrado dividiremos pela área total

$$C_{T+aa} = \frac{2,1495232}{(0,19 \cdot 0,09) + 0,0029}$$

$$C_{T+aa} = 107,47616 \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$$

**Tijolo maciço assentado deitado (10 x 21 x 5) cm (1 vez)**

$$c = 0,92 \quad \rho = 1500$$

$$\text{Área perpendicular ao fluxo de calor} = 0,05 \cdot 0,21 = 0,0105$$

$$C_t = 1500 \cdot 0,92 \cdot 0,1 \cdot 0,0105$$

$$C_t = 1,449 \text{ J/K}$$

Capacidade da argamassa de assentamento ( $\rho = 1900$ )  $c = 1$

$$\text{Área perpendicular ao fluxo de calor} = 0,06 \cdot 0,01 + 0,21 \cdot 0,01 = 0,0027$$

$$C_{aa} = 1900 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 0,0027$$

$$C_{aa} = 0,513 \text{ J/K}$$

Capacidade total do tijolo mais a argamassa de assentamento

$$C_{T+aa} = C_T + C_{aa}$$

$$C_{T+aa} = 1,962 \text{ J/K}$$

Para o cálculo da capacidade por metro quadrado dividiremos pela área total

$$C_{T+aa} = \frac{1,962}{(0,0105) + 0,0027}$$

$$C_{T+aa} = 148,636363 \text{ (J/(m}^2 \cdot \text{K))}$$

**Tijolo maciço assentado em pé (1/2 vez) (10 x 21 x 5)**

$$c = 0,92 \quad \rho = 1500$$

$$\text{Área perpendicular ao fluxo de calor} = 0,1 \cdot 0,21 = 0,021$$

$$C_t = 1500 \cdot 0,92 \cdot 0,05 \cdot 0,021$$

$$C_t = 1,449 \text{ J/K}$$

Capacidade da argamassa de assentamento ( $\rho = 1900$ )  $c = 1$

Área perpendicular ao fluxo de calor =  $0,11 \cdot 0,01 + 0,21 \cdot 0,01 = 0,0032$

$$C_{aa} = 1900 \cdot 1 \cdot 0,05 \cdot 0,0032$$

$$C_{aa} = 0,304 \text{ J/K}$$

Capacidade total do tijolo mais a argamassa de assentamento

$$C_{T+aa} = C_T + C_{aa}$$

$$C_{T+aa} = 1,753 \text{ J/K}$$

Para o cálculo da capacidade por metro quadrado dividiremos pela área total

$$C_{T+aa} = \frac{1,753}{(0,021) + 0,0032}$$

$$C_{T+aa} = 72,438016 \text{ (J/(m}^2 \cdot \text{K))}$$

**Wood Framing** com perfis de (44x90) mm e espaçamento de 40 cm

Capacidade do perfil de pinus  $c = 1,34$   $\rho = 500$

Área perpendicular ao fluxo de calor considerando uma altura de 1m =  $0,044 \cdot 1 = 0,044$

$$C_p = 500 \cdot 1,34 \cdot 0,09 \cdot 0,044$$

$$C_p = 2,6532 \text{ J/K}$$

Capacidade total

$$C_{wf} = \frac{2,6532 + C_i \cdot 0,4}{0,444} \text{ (J/(m}^2 \cdot \text{K))}$$

**Wood Framing** com perfis de (44x90) mm e espaçamento de 60 cm

Capacidade do perfil de pinus  $c = 1,34$   $\rho = 500$

Área perpendicular ao fluxo de calor considerando uma altura de  $1\text{m} = 0,044 \cdot 1 = 0,044$

$$C_p = 500 \cdot 1,34 \cdot 0,09 \cdot 0,044$$

$$C_p = 2,6532 \text{ J/K}$$

Capacidade total

$$C_{wf} = \frac{2,6532 + C_i \cdot 0,6}{0,644} \text{ (J/(m}^2 \cdot \text{K))}$$

### ***Steel framing com guia em U de (92x40) mm e espaçamento de 40 cm***

Para o caso dos perfis em U vamos desconsiderar as abas em relação a capacidade, segundo a bibliografia as espessuras dos perfis variam entre 0,8 e 1,25 mm. Como metal tem peso específico alto em relação aos outros materiais para esse caso consideraremos o menor perfil que dará a condição mais crítica no sentido de capacidade térmica, porém, para considerar a contribuição das abas será adicionado mais 50% à espessura, totalizando em uma espessura de 1,2 mm.

Capacidade do perfil de aço  $c = 0,46 \rho = 7800$

$$C_{aço} = 7800 \cdot 0,46 \cdot 0,09 \cdot 0,0012$$

$$C_{aço} = 0,387504 \text{ J/K}$$

Capacidade total

$$C_{sf} = \frac{0,387504 + C_i \cdot 0,4}{0,4012} \text{ (J/(m}^2 \cdot \text{K))}$$

### ***Steel framing com guia em U de (92x40) mm e espaçamento de 60 cm***

Seguindo o mesmo princípio:

Capacidade total

$$C_{sf} = \frac{0,387504 + C_i \cdot 0,6}{0,6012} \text{ (J/(m}^2 \cdot \text{K))}$$

## CAPACIDADE TÉRMICA PARA MÓDULOS DOS ACABAMENTOS

Revestimento argamassado com 2,5cm de espessura. ( $c = 1$ ) ( $\rho = 1900$ )

$$C_T = 47,5$$

OSB espessura 11,1mm ( $c = 1,7$ ) ( $\rho = 650$ )

$$C_T = 12,2655$$

Placa Cimentícia 10mm  $\rho = 1700 \text{ kg/m}^3$  ( $c = 0,84$ )

$$C_T = 14,28$$

OSB + Placa Cimentícia

$$C_T = 26,5455$$

Gesso cartonado 12,5 mm ( $c = 0,84$ )  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$

$$C_T = 9,45$$

OSB + Gesso cartonado

$$C_T = 21,7155$$

Stucco 1,25 cm ( $c = 1$ ) ( $\rho = 1900$ )

$$C_T = 23,75$$

OSB + Stucco

$$C_T = 36,0155$$

OSB + Papel de parede ou somente pintura

Considerando o papel de parede com espessura desprezível, unicamente o OSB contribuirá com a resistência.

$$C_T = 12,2655$$

### CAPACIDADE TÉRMICA PARA MÓDULOS OS ISOLANTES

Lã de Vidro  $c = 0,7$   $\rho = 50$

$$C_T = 3,15$$

Lã de Rocha  $c = 0,75$   $\rho = 70$

$$C_T = 4,725$$

Poliestireno expandido  $c = 1,42$   $\rho = 20$

$$C_T = 2,556$$

## APÊNDICE B – REALIZAÇÃO DE EXEMPLO PARA VALIDAÇÃO DO SOFTWARE

### EXEMPLO 1:

Tipo de estrutura da parede: Tijolo maciço assentado em pé (1/2 vez)

Tipo de acabamento externo: Revestimento argamassado com 2,5 cm de espessura.

Tipo de acabamento interno: Revestimento argamassado com 2,5 cm de espessura.

### Cálculo através do software

Escolha dos módulos:

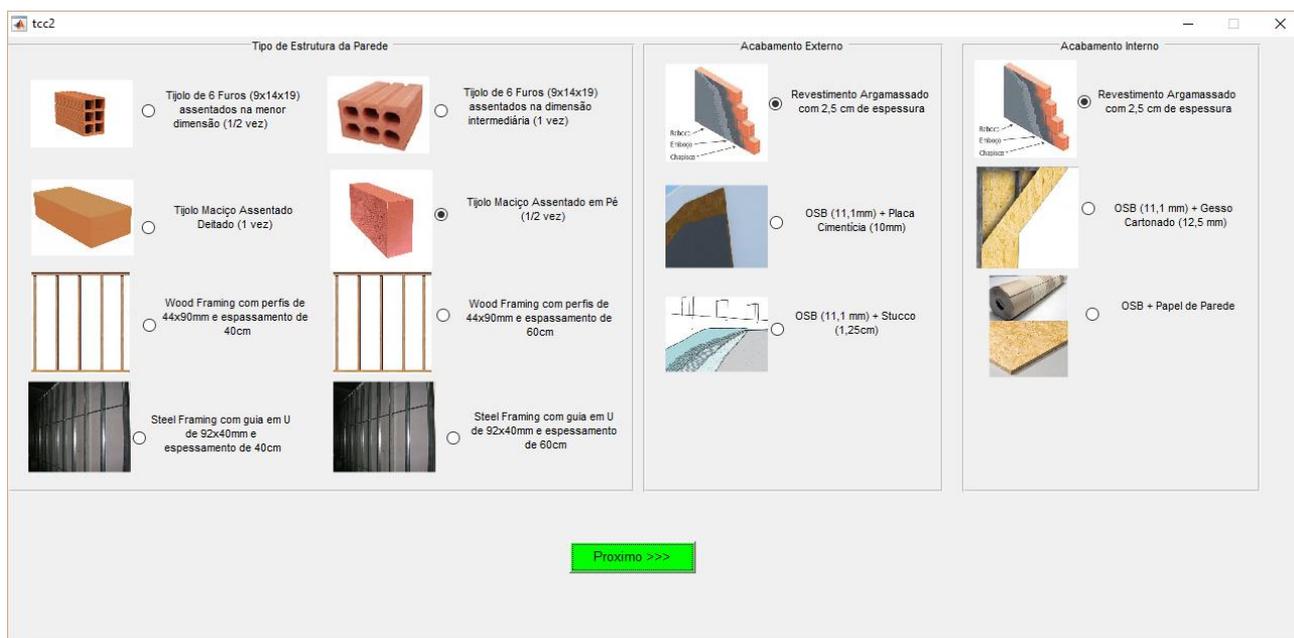


Figura 51: Entrada de dados exemplo 1

## Resultados:



Figura 52: Resultados exemplo 1

### Cálculo manual

Para o cálculo serão utilizados os valores da tabela

Resistência térmica da estrutura = 0,053587245 m<sup>2</sup>.K/W

Resistência térmica do acabamento externo = 0,021739 m<sup>2</sup>.K/W

Resistência térmica do acabamento interno = 0,021739 m<sup>2</sup>.K/W

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

Como todas essas resistências estão em paralelo, temos:

$$\text{Resistência total} = 0,053587245 + 0,021739 + 0,021739 + 0,13 + 0,04$$

$$\text{Resistência total} = 0,267065245 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\text{Transmitância} = \mathbf{3,7444} \text{ W}/ \text{ m}^2.\text{K}$$

$$\text{Capacidade térmica da estrutura} = 72,438016 \text{ kJ}/ \text{ m}^2.\text{K}$$

$$\text{Capacidade térmica do acabamento externo} = 47,5 \text{ kJ}/ \text{ m}^2.\text{K}$$

$$\text{Capacidade térmica do acabamento interno} = 47,5 \text{ kJ}/ \text{ m}^2.\text{K}$$

Capacidade Térmica total =  $47,5 + 47,5 + 72,438016$

Capacidade Térmica total = **167,438016** kJ/ m<sup>2</sup>.K

### Exemplo 2:

Tipo de estrutura da parede: *Wood framing* com perfis de 44 x 90 mm e espaçamento de 40 cm.

Tipo de acabamento externo: OSB (11,1 mm) + Placa cimentícia (10 mm).

Tipo de acabamento interno: OSB (11,1 mm) + Gesso cartonado (12,5 mm).

Isolante: Lã de vidro

### Cálculo através do software

Escolha dos módulos:

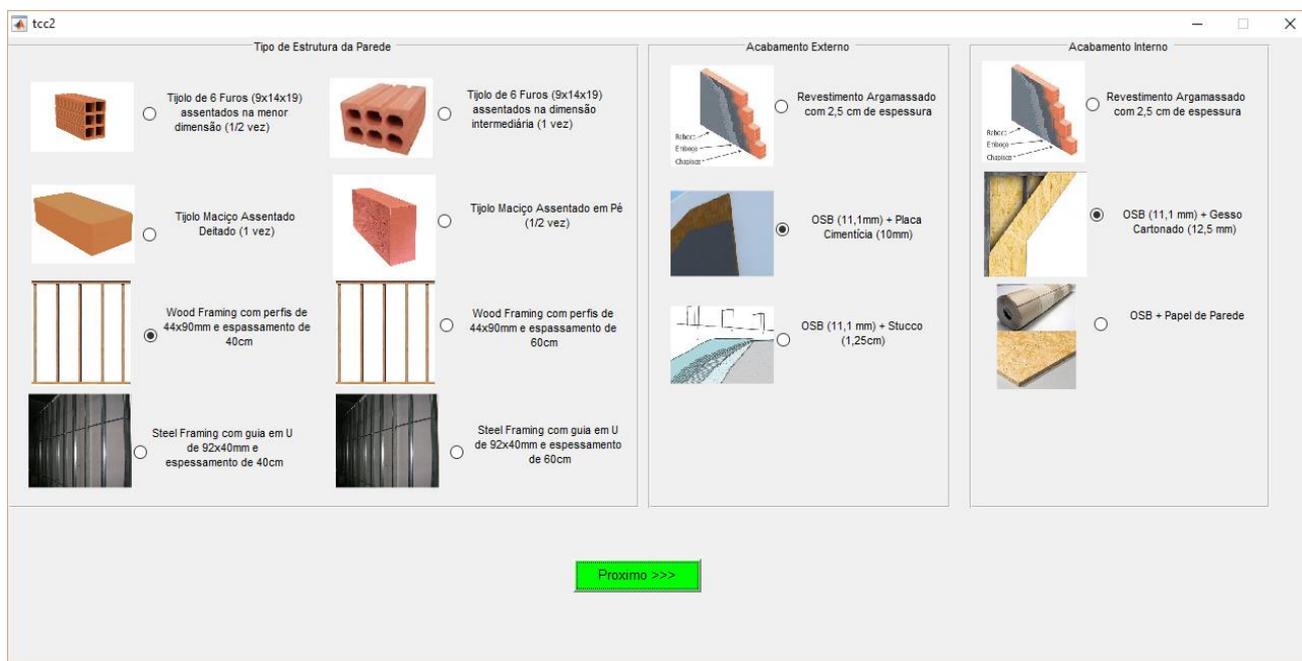


Figura 53: Entrada de dados exemplo 2

Escolha do isolante:



Figura 54: Entrada de dados exemplo 2

Resultados



Figura 55: Resultados exemplo 2

Cálculo manual

Para o cálculo serão utilizados os valores da tabela

Resistência térmica da estrutura =

$$R_{p+i} = \left( \frac{1}{\frac{1}{13,63636364} + \frac{1}{\frac{R_{iesp}}{0,4}}} \right) \cdot (0,444)$$

Resistência térmica do isolante = 2

$$R_{p+i} = \left( \frac{1}{\frac{1}{13,63636364} + \frac{1}{\frac{R_{iesp}}{0,4}}} \right) \cdot (0,444)$$

Resistência térmica da estrutura = 1,624390244 m<sup>2</sup>.K/W

Resistência térmica do acabamento externo = 0,1007692 m<sup>2</sup>.K/W

Resistência térmica do acabamento interno = 0,1210989 m<sup>2</sup>.K/W

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

Como todas essas resistências estão em paralelo, temos:

$$\text{Resistência total} = 0,13 + 0,04 + 1,624390244 + 0,1007692 + 0,1210989$$

$$\text{Resistência total} = 2,016258344 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\text{Transmitância} = \mathbf{0,495968189 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}}$$

Capacidade térmica da estrutura =

$$\frac{2,6532 + C_i \cdot 0,4}{0,444}$$

Capacidade térmica do isolante = 3,15 kJ/m<sup>2</sup>.K

Capacidade térmica da estrutura = 8,8135135 kJ/ m<sup>2</sup>.K

$$\frac{2,6532 + 3,15 \cdot 0,4}{0,444}$$

Capacidade térmica do acabamento externo = 26,5455 kJ/m<sup>2</sup>.K

Capacidade térmica do acabamento interno = 21,7155 kJ/ m<sup>2</sup>.K

$$\text{Capacidade Térmica total} = 8,8135135 + 26,5455 + 21,7155$$

$$\text{Capacidade Térmica total} = \mathbf{57,0745} \text{ kJ/ m}^2\cdot\text{K}$$