

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA  
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM BLOCOS COM DIVERSAS  
CONCEPÇÕES E MATERIAIS CONSTITUINTES**

**DANILLO ROCHA FIGUEIREDO**

**BARREIRAS-BA  
OUTUBRO-2017**

**DANILLO ROCHA FIGUEIREDO**

**ANÁLISE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM BLOCOS COM DIVERSAS  
CONCEPÇÕES E MATERIAIS CONSTITUINTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. D.Sc Pedro Claudio S. Vieira

**BARREIRAS-BA**

**OUTUBRO-2017**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Universitária do Centro das Ciências Exatas e das  
Tecnologias da Universidade Federal do Oeste da Bahia**

FICHA CATALOGRÁFICA

---

F475 Figueiredo, Danillo Rocha.

Análise de transferência de calor em blocos com diversas concepções e materiais constituintes. / Danillo Rocha Figueiredo. – 2017.

52 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Cláudio S. Vieira.

Trabalho de Conclusão de Curso: (Graduação em Engenharia Civil) -  
Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das  
Tecnologias, Barreiras, BA, 2017.

1. Materiais de construção. 2. Resistência de materiais. I. Vieira, Pedro Cláudio  
S. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro das Ciências Exatas e das  
Tecnologias. III. Título.

CDD: 620.1

---

BIBLIOTECAS UFOB - Biblioteca Universitária de Barreiras

DANILLO ROCHA FIGUEIREDO


**ANÁLISE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM BLOCOS COM DIVERSAS  
CONCEPÇÕES E MATERIAIS CONSTITUINTES**


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à  
obtenção do grau de Engenheiro Civil.


Aprovada em 02 de Outubro de 2017

**Banca Examinadora**

Orientador: \_\_\_\_\_

  
Prof. D.Sc Pedro Claudio Santos Vieira  
UFOB

  
Prof. D.Sc Juarez Hoppe Filho  
UFOB

  
Prof. M.Sc Jailson França dos Santos  
UFOB

*Aos meus pais, Jovelina e Itaci e  
ao meu irmão Januário, por todo  
exemplo, amor e apoio.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Pedro Claudio Santos Vieira, pela confiança, incentivo, paciência e ajuda em todos os momentos.

Aos meus pais, Jovelina Rocha e Itaci Figueiredo, pelo amor, exemplo, apoio e educação que me trouxeram até aqui.

Ao meu irmão Januário Miranda, pelo exemplo de pessoa e honestidade, muitas vezes sendo mais pai do que irmão.

Aos meus queridos amigos, Michael Pedrosa, Pedro Henrique, Icaro Lobô, Rafael Malheiro, Otavio Mota, José Guedes, Rodolfo Novais, Pedro Moraes, Tacio Nogueira, Thaysa Cristina, Lorena Santana e tantos outros, pela amizade, conselhos e risadas compartilhadas durante a graduação.

Às empresas Peroli Engenharia, Potira Terraplanagem e Dimensão Engenharia, onde trabalhei durante a graduação, e que foram responsáveis diretas pelo meu crescimento profissional e pessoal.

A Victoria Teixeira por todo amor e carinho a que me dedicou durante essa importante fase de minha vida, assim como toda a sua família.

A todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram com ações e palavras de incentivo.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

## RESUMO

Diante da variação de temperatura, principalmente em zonas tropicais, a engenharia assume um importante papel no estudo de soluções dentro da área de conforto térmico e eficiência energética, tornando-se imprescindível a elaboração de projetos com espaços mais confortáveis aos usuários.

O trabalho analisou os elementos construtivos de vedação residenciais mais usuais no Brasil, o bloco cerâmico e o estrutural de concreto, usados de maneiras e com revestimentos diversificados, procurando quantificar com o uso do software de análise térmico ANSYS, buscando uma análise mais detalhada de como a variação de temperatura ocorre nos modelos em questão, o que não seria possível sem a análise tridimensional que o ANSYS proporciona. Mais do que a ideia de qual concepção é mais favorável em climas quentes como o de Barreiras-BA, a modelagem computacional apresenta valores quase exatos do tamanho da variação térmica que ocorre.

**Palavras-chave:** Análise térmica; bloco cerâmico; bloco estrutural; ANSYS

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Zoneamento bioclimático.....	16
Figura 2 - Representação do fluxo de calor .....	18
Figura 3 - Exemplificação de transmitância térmica .....	19
Figura 4 - Representação dos Nós e dos Elementos (MEF).....	21
Figura 5 - Configuração do SOLID90 .....	24
Tabela 6 - Resumo do SOLID90.....	24
Figura 7 - Catalogo de propriedades térmicas .....	25
Figura 11 - Bloco cerâmico .....	29
Figura 12 - Bloco Estrutural de concreto .....	30
Figura 13 - Entrada das propriedades .....	32
Figura 14 - Entrada dos dados .....	32
Figura 15 - Escolha de Malha Média .....	33
Figura 16 - Entrada de carregamento.....	34
Figura 18 - Posição de assentamento dos blocos.....	35
Figura 19 - Bloco estrutural em concreto sem argamassa.....	36
Figura 20 - Bloco estrutural em concreto com argamassa tradicional. ....	37
Figura 21 - Bloco estrutural em concreto com argamassa celular.....	38
Figura 22 - Bloco cerâmico de 8 furos sem argamassa na posição 1. ....	39
Figura 23 - Bloco cerâmico de 8 furos com argamassa tradicional na posição 1.....	40
Figura 24 - Bloco cerâmico de 8 furos com argamassa celular na posição 1.....	41
Figura 25 - Bloco cerâmico de 8 furos sem argamassa na posição 2. ....	42
Figura 26 - Bloco cerâmico de 8 furos com argamassa tradicional na posição 2.....	43
Figura 27 - Bloco cerâmico de 8 furos com reboco celular na posição 2.....	44
Figura 28 - Comparativo das temperaturas internas e externas .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo normativo das NBR's 15.220 e 15.575.....	16
Tabela 2 - Influência da variação da temperatura sobre o consumo residencial. ....	28
Tabela 3 - Média das propriedades do bloco cerâmico. ....	30
Tabela 4 - Média das propriedades do bloco estrutural .....	30
Tabela 5 - Média das propriedades da argamassa comum.....	31
Tabela 6 - Média das propriedades da argamassa celular. ....	31
Tabela 7 - (CASO 1) Aumento da temperatura em função do tempo bloco estrutural em concreto sem argamassa.....	36
Tabela 8 - (CASO 2) Aumento da temperatura em função do tempo bloco estrutural em concreto com argamassa tradicional. ....	37
Tabela 9 - (CASO 3) Aumento da temperatura em função do tempo bloco estrutural em concreto com argamassa celular.....	38
Tabela 10 - (CASO 4) Aumento da temperatura em função do tempo bloco cerâmico de 8 furos sem argamassa na posição 1.....	39
Tabela 11 - (CASO 5) Aumento da temperatura em função do tempo bloco cerâmico de 8 furos com argamassa tradicional na posição 1. ....	40
Tabela 12 - (CASO 6) Aumento da temperatura em função do tempo bloco cerâmico de 8 furos com argamassa celular na posição 1.....	41
Tabela 13 - (CASO 7) Aumento da temperatura em função do tempo bloco cerâmico de 8 furos sem argamassa na posição 2.....	42
Tabela 14 - (CASO 8) Aumento da temperatura em função do tempo bloco cerâmico de 8 furos com argamassa tradicional na posição 2. ....	43
Tabela 15 - (CASO 9) Aumento da temperatura em função do tempo para bloco cerâmico de 8 furos com reboco celular na posição 2.....	44
Tabela 16 - Relação entre nós e elementos .....	45
Tabela 17 - Variação de temperatura final.....	46
Tabela 18 - Variação de temperatura inicial. ....	47

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA .....	10
1.2 OBJETIVO.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>12</b>
2.1 NBR 15.220 (ABNT, 2005) .....	12
2.2 NBR 15.575 (ABNT, 2013).....	13
2.3 CONFORTO TÉRMICO, PONDERAÇÕES E VARIÁVEIS.....	14
2.3.1 TEMPERATURA DO AR.....	14
2.3.2 UMIDADE RELATIVA DO AR .....	15
2.3.3 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO .....	15
2.3.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS .....	17
2.4 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF) .....	20
2.5 CATALOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS .....	25
2.6 ACRÉSCIMO DO CONSUMO ENERGÉTICO EM FUNÇÃO DO AUMENTO DA TEMPERATURA.....	27
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
3.1 BLOCO CERÂMICO.....	29
3.2 BLOCO ESTRUTURAL EM CONCRETO.....	30
3.3 ARGAMASSA COMUM.....	30
3.4 ARGAMASSA CELULAR .....	31
3.5 ANSYS.....	31
3.5.1 ENTRADA DO TIPO DE ELEMENTO .....	32
3.5.2 ENTRADA DAS PROPRIEDADES DO MATERIAL (ENGINEERIG DATA) .....	32
3.5.3 ENTRADA DOS DADOS GEOMÉTRICOS (GEOMETRY) .....	32
3.5.4 GERAÇÃO DA MALHA (MESH).....	33
3.5.5 ENTRADA DO CARREGAMENTO .....	33
3.5.6 ENTRADA DAS CONDIÇÕES DO CONTORNO .....	34
3.5.7 TIPO DE CÁLCULO E RESULTADOS .....	35
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>35</b>
4.1 BLOCOS ESTRUTURAIS EM CONCRETO .....	36
4.2 BLOCOS CERÂMICOS DE 8 FUROS .....	39
4.3 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE A MALHA E O ERRO ACUMULADO. ....	45
4.4 ANÁLISE DA RESISTÊNCIA TÉRMICA E VARIAÇÃO DE TEMPERATURA FINAL.....	46
4.5 ANÁLISE DA CAPACIDADE TÉRMICA E VARIAÇÃO DE TEMPERATURA INICIAL.....	46
4.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AS VARIAÇÕES DE TEMPERATURAS ESTUDADAS .....	48
4.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS DE CUSTO SOBRE AS VARIAÇÕES DE TEMPERATURA .....	49
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>50</b>
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>51</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>52</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Importância do Tema**

O setor da construção civil, na busca por soluções que promovam a melhoria na qualidade de seus produtos e serviços, vem adotando nas últimas décadas medidas de inovação no atendimento das necessidades dos seus clientes (GOUVEIA, 2013). Tendo isso em mente, normas e convenções foram criadas a fim de padronizar uma maneira de mensurar a qualidade e o desempenho em uma edificação.

Segundo Formoso (2003), o aumento da complexidade das construções e da competição no mercado tem impulsionado uma melhoria no desempenho e desenvolvimento de produtos na construção civil. Os clientes se tornaram mais exigentes, demandando uma maior qualidade no produto, fazendo-se assim necessário o estudo térmico para edificações levando em consideração o local onde a edificação será construída.

Com a visão crítica sobre a qualidade das edificações crescendo cada vez mais, surge a dúvida sobre a capacidade das construtoras em atender as especificações normativas a respeito, onde as principais referências no cenário nacional são as NBR's 15.220 Desempenho térmico de edificações, e 15.575 Desempenho de Edificações Habitacionais, segundo o Guia Orientativo da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2013). Especialistas afirmam que as construtoras que já se atentavam ao conforto térmico de seus clientes, não terão maiores problemas de adaptação à nova realidade de mercado, ou seja, de clientes cada vez mais exigentes com o produto final.

A principal mudança com o aumento do estudo sobre o conforto térmico aos materiais na construção civil será para fabricantes e projetistas, que terão que fornecer informações detalhadas sobre o desempenho de seus produtos e projetos frente à diversas condições climáticas e de uso.

## **1.2 Objetivo**

O objetivo deste trabalho é avaliar e quantificar a variação de temperatura em elementos de vedação da construção civil, através de métodos dos elementos finitos, usando o software de modelagem ANSYS 18.0.

## **1.3 Justificativa**

A justificativa para o desenvolvimento deste trabalho está fundamentada, sobretudo, na análise do desempenho térmico dos materiais de vedação residencial, que por sua vez repercute no conforto das pessoas e em condições adequadas para o sono e atividades normais em uma habitação, contribuindo ainda para a economia de energia. A avaliação de desempenho pode ser feita de forma simplificada, com base em propriedades térmicas das fachadas e das coberturas, ou por simulação computacional, onde são comparados todos os elementos e todos os fenômenos, simultaneamente.

As indústrias estão passando por uma reformulação em seus métodos de produção, tendências como a internet, fabricação aditiva e aprendizado automático estão a fundir o mundo físico e o mundo digital, resultando em produtos que desafiam a imaginação. As empresas também estão mudando a maneira como fabricam e operam os produtos, essas mudanças requerem simulações de engenharia, que significa estudar o comportamento e reações de um determinado sistema por meio de modelos, que imitam na totalidade ou em parte as propriedades e comportamentos deste sistema em uma escala reduzida. A simulação desempenha um papel central em todos os aspectos do ciclo de vida do produto, desde a fase do conceito até o design de engenharia e as operações.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

No cenário nacional as principais referências normativas no que diz respeito ao conforto térmico residencial são as NBR's 15.220 Desempenho térmico de edificações, e 15.575 Desempenho de Edificações Habitacionais que apresenta diretrizes sobre como construir visando o melhor conforto térmico para cada região do país.

### **2.1 NBR 15.220 (ABNT, 2005)**

Publicada em 2005, ela foi desenvolvida para auxiliar no planejamento de projetos bioclimáticos que tratam do desempenho térmico para edificações. Esta norma se divide em cinco partes, que são:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades, com termos relacionados com o desempenho térmico de edificações;

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.

Com base as partes do normativo pode-se garantir uma melhor adequação à realidade do local onde será executado o empreendimento ainda na fase de projeto, sendo apontadas as diretrizes construtivas para cada uma das zonas bioclimáticas brasileiras, levando em consideração alguns parâmetros e condições de contorno, sendo elas:

- Tamanho das aberturas para ventilação – percentuais de área de piso relativos às aberturas para ventilação;
- Proteção das aberturas – uso de proteções solares que impeçam ou permitam a entrada de sol nos ambientes internos;
- Vedações externas – indicações de valores de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para paredes externas e coberturas;

- Estratégias de condicionamento térmico passivo – a norma lista as estratégias bioclimáticas a serem utilizadas em 330 cidades classificadas de acordo com seu clima.

## **2.2 NBR 15.575 (ABNT, 2013)**

Ela estabelece padrões mínimos de qualidade, baseados no desempenho e na durabilidade dos sistemas construtivos. Isso serve como balizador para o mercado de construção civil, que atua em um mercado mais regulado, e segurança jurídica para os consumidores. A norma possui critérios objetivos para medir as responsabilidades em caso de problemas. O critério de desempenho é utilizado largamente em edificações.

A NBR 15.575 contém seis partes, sendo elas:

Parte 1: Requisitos gerais;

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;

Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;

Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;

Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;

Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Todas as partes estão dispostas de forma a seguirem uma sequência de exigências que estão relacionadas à segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionabilidade e acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental).

A forma de estabelecimento do desempenho é realizada por meio da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, visando à mensuração clara do cumprimento da norma. Dentre os requisitos, encontra-se o desempenho térmico, sendo avaliado por valores máximos de temperatura interna no verão e os valores mínimos de temperatura interna no inverno. Assim, na NBR 15.575, o desempenho térmico pode ser classificado como um dos requisitos que deve ser contemplado adequadamente pelos sistemas de vedações verticais internas e externas, bem como pelos sistemas de cobertura (PEREIRA, 2015).

De acordo com a NBR 15575, a avaliação térmica pode ser efetuada de diferentes formas, sendo elas:

Procedimento 1A – Simplificado (normativo): presta-se a verificar o atendimento aos requisitos e critérios para o envelopamento da obra, com base na transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) das paredes de fachada e das coberturas.

Procedimento 1B – Simulação por software Energy Plus7 (normativo): para os casos em que os valores obtidos para a transmitância térmica e/ou capacidade térmica se mostrarem insatisfatórios frente aos critérios e métodos estabelecidos nas partes 4 e 5 da norma NBR 15575, o desempenho térmico global da edificação deve ser avaliado por simulação computacional.

Procedimento 2 – Medição in loco (informativo Anexo A da NBR 15575 - 1): prevê a verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na NBR 15575 por meio da realização de medições em edificações existentes ou protótipos construídos com essa finalidade. As medições in loco poderão ser realizadas em habitações já construídas ou em protótipos. Estes deverão reproduzir as condições mais semelhantes possíveis àquelas que serão observadas na edificação real.

### **2.3 Conforto térmico, ponderações e variáveis.**

A NBR 15.220 (ABNT, 2005) define conforto térmico como a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente, ao passo que o desconforto é a insatisfação do indivíduo causada pelo aquecimento ou resfriamento de uma parte do seu corpo.

#### **2.3.1 Temperatura do ar**

Como mostrado por Pereira, 2015. A temperatura do ar pode ser considerada a principal variável do conforto térmico, sendo que a sensação de conforto é baseada na variação de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre pele e o ar. O calor é produzido pelo corpo através do metabolismo e suas perdas são menores quando a temperatura do ar está alta ou maiores quando a temperatura está mais baixa.

Outro fator que pode ser atribuído à temperatura do ar é a convecção natural, que é movimentação do ar provocada pela diferença de temperatura entre dois pontos no

ambiente, no qual a parte mais quente torna-se mais leve e sobe, enquanto a mais fria desce, proporcionando uma sensação de resfriamento do ambiente (LAMBERTS, 2011).

### **2.3.2 Umidade relativa do ar**

Pereira (2015) explica a umidade como sendo caracterizada pela quantidade de vapor d'água contido no ar. Este vapor se forma pela evaporação da água, que muda do estado líquido para o gasoso sem haver modificação da sua temperatura.

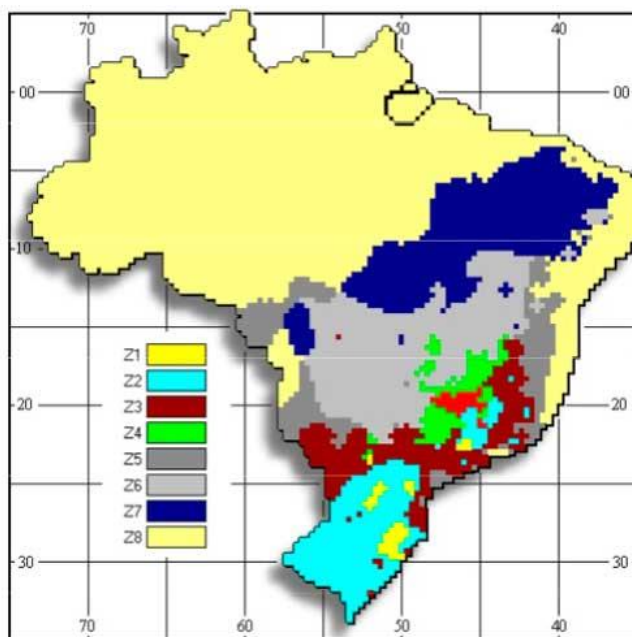
Se o ar estiver saturado, dá-se início o processo de condensação, no qual o vapor excedente do ar volta ao estado líquido e provoca o aumento da temperatura, além disso, a evaporação passa a não ser possível, fazendo com que a pessoa comece a ganhar mais calor.

Pode-se observar que a umidade do ar em conjunto com a velocidade do ar, intervém diretamente nas trocas térmicas entre o corpo e o ambiente, assim é importante garantir condições ideais dessas variáveis, favorecendo essas trocas e proporcionando uma melhora na sensação de conforto térmico.

### **2.3.3 Zoneamento bioclimático brasileiro**

Em seu trabalho Lamberts e Triana (2007) ressaltam que por conta das dimensões continentais que o Brasil possui, o país conta com uma grande diversidade de climas, motivo pelo qual se espera que cada projeto responda de maneira diferente em cada local do país. A NBR 15.220 (ABNT, 2005), divide o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, para cada uma destas zonas, há um conjunto de recomendações técnicas visando o aumento do desempenho térmico das edificações, através da melhor adequação climática a cada situação. Os limites de conforto térmico das normas a NBR 15.220 (ABNT, 2005), e a NBR 15.575 (ABNT, 2013), estão resumidos na tabela na figura 1 e na tabela 1 a seguir:

Figura 1- Zoneamento bioclimático



Fonte: Fonte: bioclimatismo.com.br, acesso em 07 de outubro de 2017

Tabela 1 - Resumo normativo das NBR's 15.220 e 15.575

ZONA	NBR 15.220			NBR 15.575	
	U (transmitância)	$\varphi$ (transmitância)	FS <sub>o</sub> (transmitância)	U (transmitância)	Ct (Capacidade termica)
1	≤3,00 (leve)	≤4,3	≤5,0	≤2,5 (Parede leve)	≥130
2	≤3,00 (leve)	≤4,3	≤5,0	≤2,5 (Parede leve)	≥130
3	≤3,60 (leve refletora)	≤4,3	≤4,0	≤3,7 e $\alpha$ ≤0,60 ≤2,5 e $\alpha$ >0,60	≥130
4	≤2,20 (pesada)	≥6,5	≤3,5	≤3,7 e $\alpha$ ≤0,60 ≤2,5 e $\alpha$ >0,60	≥130
5	≤3,60 (leve refletora)	≥4,3	≤4,0	≤3,7 e $\alpha$ ≤0,60 ≤2,5 e $\alpha$ >0,60	≥130
6	≤2,20 (pesada)	≥6,5	≥6,5	≤3,7 e $\alpha$ ≤0,60 ≤2,5 e $\alpha$ >0,60	≥130
7	≤2,20 (pesada)	≥6,5	≥6,5	≤3,7 e $\alpha$ ≤0,60 ≤2,5 e $\alpha$ >0,60	≥130
8	≤3,60 (leve refletora)	≤4,3	≤4,3	≤3,7 e $\alpha$ ≤0,60 ≤2,5 e $\alpha$ >0,60	Sem exigência

Fonte: O autor, adaptado das NBR's 15.220 e 15.575, 2017.

### 2.3.4 Propriedades térmicas dos materiais

Em sua dissertação de mestrado, Kappaun (2012) ressalta a importância do conhecimento das propriedades térmicas dos materiais e fechamentos que compõem a edificação para o estudo do desempenho térmico, sendo o “Envelope” da edificação responsável pelas trocas térmicas entre o meio externo e interno. As principais propriedades térmicas dos componentes construtivos são:

- Fluxo de calor;
- Resistência térmica;
- Transmitância térmica;
- Condutividade térmica;
- Capacidade térmica;
- Atraso térmico;
- Absortância à radiação solar

#### Fluxo de calor

O fluxo de calor ( $\phi$ ) é o quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo, a exemplo da Figura 2, sendo (S) uma superfície localizada na região onde ocorre a propagação de calor. O fluxo de calor através da superfície (S) é dado pela relação entre a quantidade de calor (Q) que atravessa a superfície e o intervalo de tempo decorrido.

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} \quad (1)$$

em que:

- $\phi$  = Fluxo de calor, em W;
- $Q$  = Quantidade de calor, em J; e
- $\Delta t$  = Variação do tempo, em s.

Figura 2 - Representação do fluxo de calor



Fonte: colegioweb.com.br, acesso em 29 de setembro de 2017.

### Resistência térmica total

A resistência térmica total ( $R_t$ ) é o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa, a resistência térmica de um material corresponde à dificuldade de transmissão de calor e é determinada pelo quociente entre a espessura do material ( $E$ ) e a sua condutividade térmica ( $\lambda$ ), Quanto menor for a condutibilidade térmica e maior a espessura do material, mais eficaz será o isolamento térmico.

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (2)$$

em que:

- $R_t$  = Resistência térmica total, em  $(m^2.K)/W$ ;
- $R_n$  = Resistência do componente  $n$ , em  $(m^2.K)/W$ ; e
- $A_n$  = Área do componente, em  $n$ .

Sendo que o valor da resistência de cada componente é dado por:

$$R_n = \frac{e_n}{\lambda_n} \quad (3)$$

em que:

- $R_n$  = Resistencia do componente  $n$ , em  $(m^2.K)/W$ ;
- $e_n$  = Espessura do componente  $n$ , em  $m$ ; e
- $\lambda_n$  = Condutividade do componente  $n$ ,  $W/(m.K)$ .

### Transmitância térmica total

A transmitância térmica ( $U$ ) ou coeficiente global de transferência de calor é dado pelo o inverso da resistência térmica total (NBR 15.220,2005). A transmitância térmica

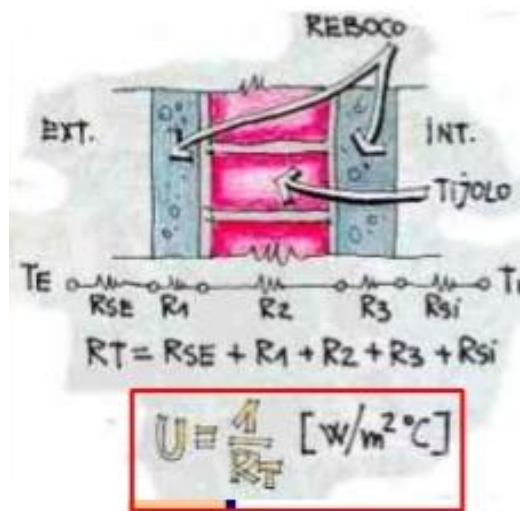
representa a capacidade que o componente tem de conduzir maior ou menor quantidade de energia por unidade de área e de diferença de temperatura, exemplificado na figura 3 (KAPPAUN, 2012).

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (4)$$

em que:

- $U$  = Transmitância térmica total, em  $W/(m^2.K)$ ; e
- $R_t$  = Resistência térmica total, em  $(m^2.K)/W$ .

Figura 3 - Exemplificação de transmitância térmica



Fonte: LAMBERTS et al, 2004.

### Condutividade térmica

A condutividade térmica ( $\lambda$ ) é a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de  $1W/m^2$ , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por  $m^2$  (NBR 15.220, 2005).

$$\lambda = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{d} \quad (5)$$

em que:

- $\lambda$  = Condutividade térmica, em  $W/(m.K)$ ;
- $A$  = Área transversal do material, em  $m^2$ ;
- $\Delta T$  = Diferença de temperatura em faces, em  $^\circ C$ ;
- $d$  = Espessura do material, em m; e
- $k$  = Constante de condutividade do material.

## Capacidade térmica total

A capacidade térmica (C) é a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema, segundo (NBR 15.220, 2005). Quanto maior a capacidade térmica dos componentes de uma edificação, maior sua inércia térmica resultando em maior amortecimento das temperaturas internas em relação aos valores correspondentes no ambiente externo (LAMBERTS et al., 2010).

$$C_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{ta}} + \frac{A_b}{C_{tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_n}} \quad (6)$$

em que:

$$\begin{aligned} C_t &= \text{Capacidade térmica total, em KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \\ C_n &= \text{Capacidade do componente n, em KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \text{ e} \\ A_n &= \text{Área do componente n, em m}^2 \end{aligned}$$

Sendo que o valor da capacidade termica de cada componente é dado por:

$$C_n = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (7)$$

em que:

$$\begin{aligned} C_n &= \text{Capacidade do componente n, em KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \\ e_n &= \text{Espessura do componente i, em m}; \\ c_i &= \text{Calor específico da matéria da camada i, em KJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}); \text{ e} \\ \rho_i &= \text{Massa aparente do componente n, em Kg}/\text{m}^3. \end{aligned}$$

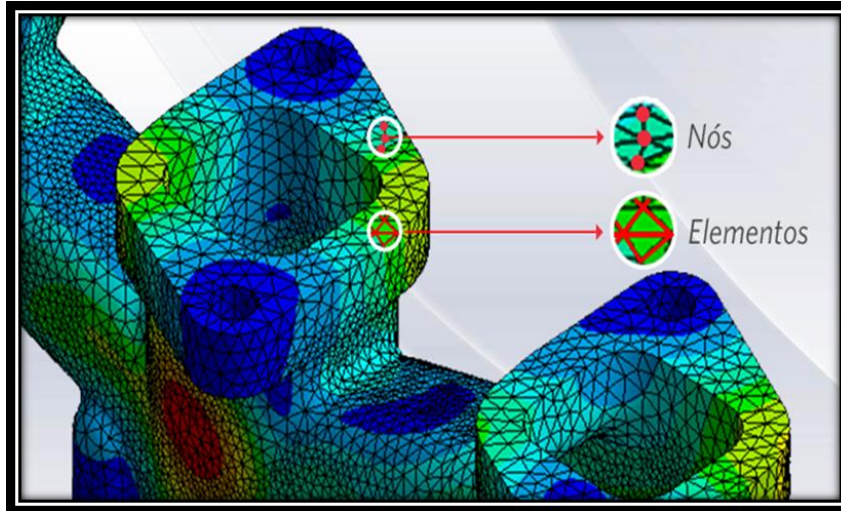
## 2.4 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)

Segundo Giuseppe Mirslisenna (2016) através do site da *Engineering Simulation and Scientific Software* (ESSS) explica como o método dos elementos finitos é de fundamental importância na engenharia de simulação. Grande parte dessas análises é realizada por meio de softwares que utilizam o método dos elementos finitos, os quais possibilitam a obtenção de respostas para inúmeros problemas de engenharia.

A geometria submetida aos carregamentos e restrições é subdividida em pequenas partes, denominadas de elementos, os quais passam a representar o domínio contínuo do problema. A divisão da geometria em pequenos elementos permite resolver

um problema complexo, subdividindo-o em problemas mais simples, o que possibilita ao computador realizar com eficiência estas tarefas na Figura 4 estar representado uma forma genérica dos nós e elementos no MEF.

Figura 4 - Representação dos Nós e dos Elementos (MEF)



Fonte: ESSS, 2006.

Mirslisenna (2016), explica que o MEF propõe que o número infinito de variáveis desconhecidas seja substituído por um número limitado de elementos de comportamento bem definido. Essas divisões podem apresentar diferentes formas, tais como a triangular, quadrilateral, entre outras, em função do tipo e da dimensão do problema.

Os elementos finitos são conectados entre si por pontos, os quais são denominados de nós ou pontos nodais. Ao conjunto de todos esses itens, elementos e nós, dá-se o nome de malha. Em função dessas subdivisões da geometria, as equações matemáticas que regem os comportamentos físicos não serão resolvidas de maneira exata, mas de forma aproximada por este método numérico. A precisão do Método dos Elementos Finitos depende da quantidade de nós e elementos, do tamanho e dos tipos de elementos da malha. Ou seja, quanto menor for o tamanho e maior for o número deles em uma determinada malha, maior a precisão nos resultados da análise. (MIRSLISENNA, 2016)

Os softwares de simulação computacional evoluindo e buscam aprimorar as análises abordadas pelo método, melhorando a escolha dos tipos e a geração da malha de elementos, as técnicas de modelagem, os critérios de aceitação, erros e a

apresentação dos resultados, facilitando a utilização desta ferramenta. Dessa maneira, o conhecimento dos fundamentos do método é essencial para que juntamente com o domínio dos softwares sejam desenvolvidas boas práticas para uma aplicação consistente deste recurso no desenvolvimento e avaliação de produtos e projetos.

O método pode ser aplicado na resolução e diagnóstico de problemas de análise estrutural por meio da obtenção de deslocamentos, deformações e tensões, também permite representar diversos cenários e avaliar o desempenho de produtos com a aplicação de critérios de resistência, rigidez ou fadiga. Além disso, variações do Método dos Elementos Finitos viabilizam a análise térmica, acústica, dinâmica, eletromagnética e de fluídos para casos mais simples de comportamento linear ou outros não lineares, como quando há grandes deslocamentos ou contato entre partes de uma montagem.

É possível, portanto, com as tecnologias atuais realizar integrações com os softwares utilizados no desenvolvimento de representação geométrica conhecida como CAD (*Computer Aided Design*), com os sistemas baseados no Método dos Elementos Finitos, denominados de CAE (*Computer-Aided Engineerig*). Essa integração permite alcançar melhores resultados com análises mais eficientes e ágeis.

A análise proposta nesse trabalho considera o sólido tridimensional e o processo de transferência de calor em regime transiente.

Em seu estudo de modelagem térmica André Barros (2013). Explica a equação governante que descreve os problemas de calor tridimensionais transientes simulados no ANSYS como uma derivada de função de varias variáveis, onde a variável temperatura é em função de suas posições no espaço definidas por x, y, z e do tempo, a função é escrita da forma:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (8)$$

em que:

$T$	=	Temperatura do corpo, em °C;
$t$	=	Tempo, em s;
$k$	=	Constante de condutividade térmica do material, em W/(m.k);
$\rho$	=	Massa especifica do material, em kg/m; e
$C_p$	=	Calor especifico do material, em W/(m.k).

A condução térmica analisada no ANSYS usa a primeira lei da termodinâmica, que afirma que a energia térmica é conservada, aplicando isto para um volume de controle diferencial, que é descrito pela equação a seguir.

$$\rho c \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \{v\}^T \{L\} T \right) + \{L\}^T \{q\} = q' \quad (9)$$

Em que

$T$	=	Temperatura do corpo, em °C;
$t$	=	Tempo, em s;
$L$	=	Vetor operador;
$\rho$	=	Massa específica do material, em kg/m <sup>3</sup> ;
$c$	=	Calor específico do material, em W/(m.k);
$v$	=	Vetor de velocidade; e
$\{q\}$	=	Vetor de fluxo de calor.

A radiação presente na modelagem térmica em estudo é proveniente de da Lei Stefan-Boltzmann para um sistema de múltiplas seções, o balanço de energia para cada superfície para um corpo difuso cinza é dado por Siegal e Howell (Equação 10), que relaciona as perdas de energia para as temperaturas da superfície.

$$\sum_{i=1}^N \left( \frac{\delta_{ji}}{\varepsilon_i} - F_{ji} \frac{1 - \varepsilon_i}{\varepsilon_i} \right) \frac{1}{A_i} Q_i = \sum_{i=1}^N (\delta_{ji} - F_{ji}) \sigma T_i^4 \quad (10)$$

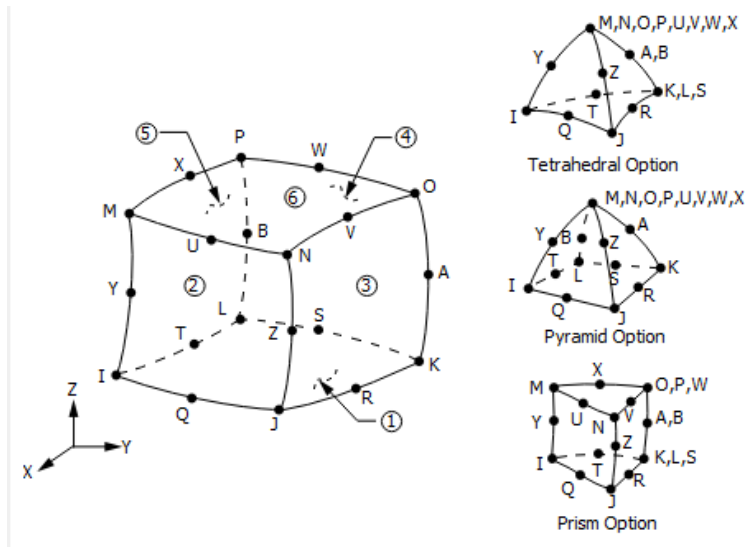
Em que

$T$	=	Numero de superfícies radiais;
$\delta$	=	Kronecker delta;
$L$	=	Vetor operador;
$\rho$	=	Massa específica do material, em kg/m <sup>3</sup> ;
$c$	=	Calor específico do material, em W/(m.k);

O ANSYS 18.0, em sua própria seção de ajuda o (*ANSYS Help Viewer*), apresenta que elemento que foi utilizado para descrever a equação em questão, o SOLID90, ele é uma versão de ordem superior do elemento térmico SOLID70, de oito nós. O elemento possui 20 nós com um único grau de liberdade em cada nó, temperatura. Os elementos de 20 nós possuem formas de temperatura compatíveis e são adequados para modelar

limites curvos. O SOLID90 é aplicável a uma análise térmica 3D, estacionária ou transitória. Se o modelo que contém este elemento também for analisado estruturalmente, é indicado a sua substituição pelo elemento estrutural equivalente, SOLID186. A geometria, os locais dos nós e o sistema de coordenadas para este elemento são mostrados na Figura 5, e suas propriedades na tabela 6 a seguir.

Figura 5 - Configuração do SOLID90



Fonte: ANSYS Help Viewer, 2017.

Tabela 6 - Resumo do SOLID90

LEGENDA	Definição	O	R
EL	Número do elemento	Y	Y
NODES	nós - I, J, K, L, M, N, O, P	Y	Y
MAT	Número do material	Y	Y
NODES	Nós de canto na face	1	-
TBULK	Temperatura do líquido a granel	1	-
HEAT RATE	Taxa de fluxo de calor através da face por convecção	1	1
HEAT RAT/AREA	Taxa de fluxo de calor por unidade de área através da face por convecção	1	-
HFLUX	Fluxo de Calor em cada né de face	1	-
HFAVG	Coeficiente médio de filme da face	-	1
TBAVG	Temperatura máxima de face a granel	-	1
HFLXAVG	Taxa de fluxo de calor por unidade de área através da face causada pelo fluxo de calor de entrada	-	1
XC, YC,ZC	Local onde os resultados são relatados	Y	2
HGEN	Gerações de calor HG (I), HG (J), HG (K), HG (L), HG (M), HG (N), HG (O), HG (P), HG (Q),... , HG (Z), HG (A), HG (B)	Y	-

Legenda para as colunas O e R:

Y = Item sempre disponível, 1 = Condicionalmente disponível, 2 = Item indisponível.

Fonte: ANSYS Help Viewer, 2017.

## 2.5 Catálogo de propriedades térmicas

Pode-se classificar as propriedades térmicas como sendo as respostas dos materiais quando solicitados termicamente, cada conjunto de alvenaria irá reagir de forma diferente a iguais solicitações, na tabela abaixo da LabEEE (2011), mostra as propriedades térmicas dos modelos mais usuais no Brasil.

Figura 7 - Catálogo de propriedades térmicas

<p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>pintura externa</p> <p>bloco de concreto 9cm</p> <p>9cm</p> <p>11,5cm</p> <p>2,5cm</p>	<p>Descrição:</p> <p>Sem revestimento interno</p> <p>Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm)</p> <p>Argamassa externa (2,5cm)</p> <p>Pintura externa (<math>\alpha</math>)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th> <th><math>C_T</math></th> <th><math>\alpha</math></th> <th>FCS</th> </tr> <tr> <th>[W/(m<sup>2</sup>K)]</th> <th>[kJ/m<sup>2</sup>K]</th> <th>[-]</th> <th>[-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">3,00</td> <td rowspan="3">157</td> <td>0,2</td> <td>2,4</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>4,8</td> </tr> <tr> <td>0,8</td> <td>9,6</td> </tr> </tbody> </table>	U	$C_T$	$\alpha$	FCS	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]	3,00	157	0,2	2,4	0,4	4,8	0,8	9,6
U	$C_T$	$\alpha$	FCS														
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]														
3,00	157	0,2	2,4														
		0,4	4,8														
		0,8	9,6														
<p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>pintura externa</p> <p>bloco de concreto 14cm</p> <p>2,5cm</p> <p>14cm</p> <p>19cm</p> <p>2,5cm</p>	<p>Descrição:</p> <p>Argamassa interna (2,5cm)</p> <p>Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm)</p> <p>Argamassa externa (2,5cm)</p> <p>Pintura externa (<math>\alpha</math>)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th> <th><math>C_T</math></th> <th><math>\alpha</math></th> <th>FCS</th> </tr> <tr> <th>[W/(m<sup>2</sup>K)]</th> <th>[kJ/m<sup>2</sup>K]</th> <th>[-]</th> <th>[-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">2,69</td> <td rowspan="3">272</td> <td>0,2</td> <td>2,2</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>4,3</td> </tr> <tr> <td>0,8</td> <td>8,6</td> </tr> </tbody> </table>	U	$C_T$	$\alpha$	FCS	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]	2,69	272	0,2	2,2	0,4	4,3	0,8	8,6
U	$C_T$	$\alpha$	FCS														
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]														
2,69	272	0,2	2,2														
		0,4	4,3														
		0,8	8,6														
<p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>pintura externa</p> <p>bloco de concreto 14cm</p> <p>14cm</p> <p>16,5cm</p> <p>2,5cm</p>	<p>Descrição:</p> <p>Sem revestimento interno</p> <p>Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm)</p> <p>Argamassa externa (2,5cm)</p> <p>Pintura externa (<math>\alpha</math>)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th> <th><math>C_T</math></th> <th><math>\alpha</math></th> <th>FCS</th> </tr> <tr> <th>[W/(m<sup>2</sup>K)]</th> <th>[kJ/m<sup>2</sup>K]</th> <th>[-]</th> <th>[-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">2,87</td> <td rowspan="3">221</td> <td>0,2</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>4,6</td> </tr> <tr> <td>0,8</td> <td>9,2</td> </tr> </tbody> </table>	U	$C_T$	$\alpha$	FCS	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]	2,87	221	0,2	2,3	0,4	4,6	0,8	9,2
U	$C_T$	$\alpha$	FCS														
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]														
2,87	221	0,2	2,3														
		0,4	4,6														
		0,8	9,2														
<p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>argamassa interna 2,5cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>pintura externa</p> <p>bloco cerâmico 14cm</p> <p>2,5cm</p> <p>9cm</p> <p>14cm</p> <p>2,5cm</p>	<p>Descrição:</p> <p>Argamassa interna (2,5cm)</p> <p>Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm)</p> <p>Argamassa externa (2,5cm)</p> <p>Pintura externa (<math>\alpha</math>)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th> <th><math>C_T</math></th> <th><math>\alpha</math></th> <th>FCS</th> </tr> <tr> <th>[W/(m<sup>2</sup>K)]</th> <th>[kJ/m<sup>2</sup>K]</th> <th>[-]</th> <th>[-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">2,43</td> <td rowspan="3">152</td> <td>0,2</td> <td>1,9</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>3,9</td> </tr> <tr> <td>0,8</td> <td>7,8</td> </tr> </tbody> </table>	U	$C_T$	$\alpha$	FCS	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]	2,43	152	0,2	1,9	0,4	3,9	0,8	7,8
U	$C_T$	$\alpha$	FCS														
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]														
2,43	152	0,2	1,9														
		0,4	3,9														
		0,8	7,8														

	Descrição:			<input type="checkbox"/>
	Sem Revestimento Interno Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa ( $\alpha$ )			
U	$C_T$	$\alpha$	FCS	
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]	
2,61	98	0,2 0,4 0,8	2,1 4,2 8,4	

	Descrição:			<input type="checkbox"/>
	Sem revestimento interno Bloco cerâmico (9,0 x 9,0 x 24,0 cm) Sem revestimento externo			
U	$C_T$	$\alpha$	FCS	
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]	
2,99	42	0,2 0,4 0,8	2,4 4,8 9,6	

	Descrição:			<input type="checkbox"/>
	Sem revestimento interno Bloco cerâmico (14,0 x 14,0 x 29,0cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa ( $\alpha$ )			
U	$C_T$	$\alpha$	FCS	
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]	
1,96	106	0,2 0,4 0,8	1,6 3,1 6,3	

	Descrição:			<input type="checkbox"/>
	Sem revestimento interno Bloco cerâmico (14,0 x 9,0 x 24,0cm) Sem revestimento externo			
U	$C_T$	$\alpha$	FCS	
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]	
2,37	56	0,2 0,4 0,8	1,9 3,8 7,6	

Fonte: Lamberts et al, 2011.

## 2.6 Acréscimo do consumo energético em função do aumento da temperatura

É importante mensurar os impactos que a variação das temperaturas pelo planeta pode ocasionar na necessidade de energia elétrica pelas residências (ANDRADE e SANT'ANNA, 2013).

Em seu estudo Andrade e Sant'anna (2013), explicam que a influência da temperatura sobre o consumo de energia elétrica varia de acordo com características climatológicas da área avaliada. Assim, em regiões com clima temperado (estações bem definidas e com inverno rigoroso) a relação é tipicamente não linear. Nesta situação há uma temperatura limiar (usualmente entre 18 °C e 21°C) a partir da qual tanto o aumento como a diminuição da temperatura acarreta crescimento do consumo para fins de refrigeração (no caso do aumento da temperatura) ou aquecimento (no caso de diminuição).

No entanto para regiões caracterizadas pelo clima tropical (temperaturas anuais menos variáveis e mais elevadas), a relação entre temperatura e consumo de energia apresenta comportamento linear. Esta característica está em grande parte associada ao fato de o inverno nessas regiões apresentar temperaturas médias que não caracterizam a necessidade de calefação de ambientes, o que em última instância não aumenta a demanda de energia para tal fim (ANDRADE; SANT'ANNA, 2013).

A respeito da influência da temperatura sobre o consumo de energia elétrica. Fung (2006) estima a partir de regressão estatística que o aumento da temperatura urbana em 10°C elevaria o consumo residencial em Hong Kong em aproximadamente 9%.

Andrade e Sant'anna (2013) realizaram estudo semelhante no Rio de Janeiro onde obtiveram a correlação entre a variação de temperatura e a variação de consumo elétrico em relação as temperaturas médias anuais, para tão estudo usou como ano base de coleta de dados o ano de 2010, que estarão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Influência da variação da temperatura sobre o consumo residencial.

Mês(s)	Limite inferior		Valores Médios		Limite superior	
	Temp. - (KWh/mês)	Temp. - (KWh/mês)	Temp. - (KWh/mês)	Temp. - (KWh/mês)	Temp. - (KWh/mês)	Temp. - (KWh/mês)
Janeiro	1,99	19,50	2,34	22,95	2,72	26,64
Fevereiro	1,73	16,94	2,51	24,60	3,12	30,57
Março	2,35	23,01	2,47	24,19	2,58	25,29
Abril	0,65	6,27	1,28	12,46	1,64	16,09
Maio	-1,40	-13,92	-1,19	-11,85	-1,05	-10,44
Junho	-2,57	-25,38	-2,04	-20,20	-1,78	-17,69
Julho	-3,00	-29,66	-2,65	-26,18	-2,25	-22,31
Agosto	-2,06	-20,04	-1,85	-18,28	-1,68	-16,69
Setembro	-2,35	-23,30	-2,00	-19,82	-1,54	-15,28
Outubro	-1,12	-11,17	-0,77	-7,65	-0,43	-4,36
Novembro	-0,09	-1,04	0,10	0,91	0,70	6,79
Dezembro	1,66	16,23	1,69	16,55	1,93	18,91

Fonte: Andrade e Sant'anna, 2013.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O planejamento idealizado neste trabalho visou obter resultados em simulação do comportamento térmico dos elementos da construção civil, especificamente o bloco cerâmico de 8 furos, bloco estrutural de concreto assim como seu revestimento em argamassa, desta maneira, podemos estudar seu comportamento e buscar propostas de utilização na prática.

O índice de emissividade (índice que mede a quantidade de radiação que é absorvida, e que pode variar de zero a um) dos materiais utilizados foi padronizado com o valor de 1, a fim de que toda radiação incidente sobre os blocos fosse totalmente absorvida, assim poderemos analisar como os materiais constituintes se comportam na situação mais desfavorável.

As formas e dimensões dos blocos e tijolos influenciam diretamente no seu desempenho térmico. Neste trabalho buscou-se analisá-los exatamente com suas formas distintas, trabalhando com opções disponíveis no mercado, variando o material de um bloco padrão comercial.

O índice de emissividade citado anteriormente é expresso pela equação (10).

$$\varepsilon = \frac{E_{\lambda}}{E'_{\lambda}} \quad (10)$$

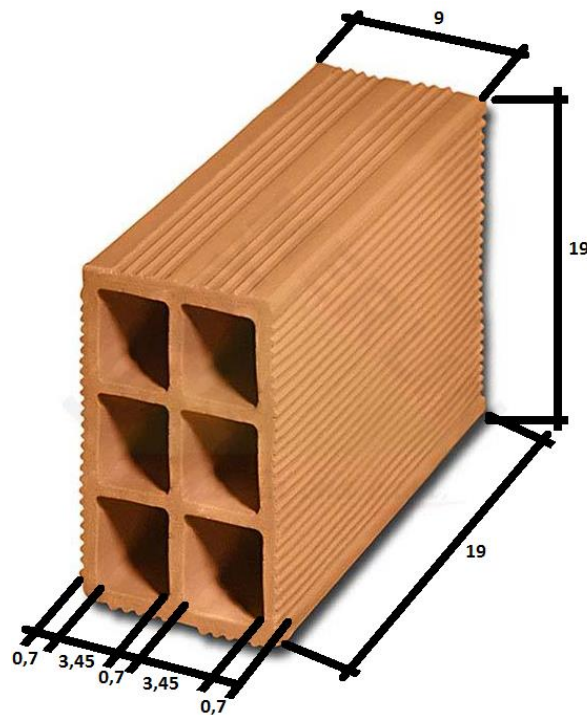
em que:

- $\varepsilon$  = Emissividade do corpo, em kg/m<sup>3</sup>;
- $E_{\lambda}$  = Quantidade de energia emitida pelo corpo;
- $E'_{\lambda}$  = Quantidade de energia emitida pelo corpo negro;

### 3.1 Bloco cerâmico

O bloco cerâmico utilizado no presente trabalho foi o de oito furos, com dimensões 9x19x19cm, sendo um dos mais usuais no que se diz respeito a obras com alvenaria de vedação, tendo suas propriedades massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) retiradas da NBR 15.220, onde as propriedades utilizadas foram à média das variações para diferentes tipos de tijolos cerâmicos e estão apresentados na tabela 3:

Figura 8 - Bloco cerâmico, medidas em cm.



Fonte: Cerâmica 4B, 2017.

Tabela 3 - Média das propriedades do bloco cerâmico.

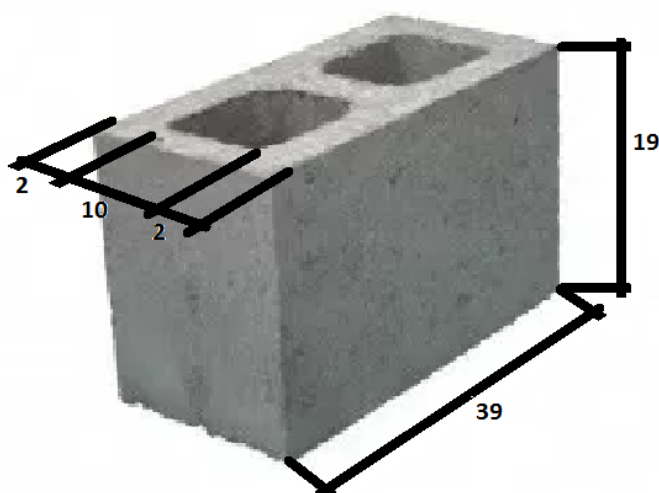
Massa aparente ( $\rho$ ) (Kg/m <sup>3</sup> )	Condutividade térmica ( $\lambda$ ) (W/(m.K))	Calor específico (c) (KJ/(Kg.K))
1.550	0,9125	0,92

Fonte: Adaptado.

### 3.2 Bloco estrutural em concreto

O bloco de concreto utilizado no presente trabalho foi o de dois furos, com dimensões 14x19x39cm, sendo um dos mais usuais no que se diz respeito a obras com alvenaria do tipo estrutural, tendo suas propriedades massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico (c) retiradas da NBR 15.220, onde as propriedades utilizadas foram a média das variações para diferentes tipos de tijolos de concreto e estão apresentados na tabela 4.

Figura 9 - Bloco Estrutural de concreto, medidas em cm.



Fonte: Cerâmica 4B, 2017.

Tabela 4 - Média das propriedades do bloco estrutural

Massa aparente ( $\rho$ ) (Kg/m <sup>3</sup> )	Condutividade térmica ( $\lambda$ ) (W/(m.K))	Calor específico (c) (KJ/(Kg.K))
2.300	1,75	1,00

Fonte: Adaptado.

### 3.3 Argamassa comum

A argamassa convencional ou comum que foi utilizada nesse trabalho teve suas propriedades massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico (c) retiradas da NBR 15.220, onde as propriedades utilizadas foram a média das variações

para diferentes tipos de argamassa considerados como comum pela NBR, a suas propriedades estão apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 - Média das propriedades da argamassa comum.

Massa aparente ( $\rho$ ) (Kg/m <sup>3</sup> )	Condutividade térmica ( $\lambda$ ) (W/(m.K))	Calor específico (c) (KJ/(Kg.K))
1.950	1,15	1,00

Fonte: Adaptado

### 3.4 Argamassa celular

A argamassa celular é obtida a partir da mistura de cimento, água e uma espuma especial. A espuma incorpora pequenas bolhas de ar na argamassa resultante e assim consegue criar vazios que, sendo em grande quantidade, faz a argamassa ter grande porcentagem de ar e assim além dela ficar leve, ter resultados diferentes em relação a demais argamassas quando solicitado, suas propriedades massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico (c) foram retiradas da NBR 15.220, suas propriedades estão apresentadas na tabela 6.

Tabela 6 - Média das propriedades da argamassa celular.

Massa aparente ( $\rho$ ) (Kg/m <sup>3</sup> )	Condutividade térmica ( $\lambda$ ) (W/(m.K))	Calor específico (c) (KJ/(Kg.K))
800	0,40	1,00

Fonte: Adaptado

### 3.5 Ansys

O ANSYS oferece às empresas mais inovadoras um amplo portfólio de software de simulação, ajudando-os a resolver as situações mais complexas e desafiadoras que as mesmas possam encontrar. O funcionamento do ANSYS pode ser dividido em três etapas:

1ª Etapa (pré-processamento):

- Entrada do tipo de elemento
- Entrada das propriedades do material
- Entrada de dados geométricos
- Geração da malha
- Entrada do carregamento (temperatura)
- Entrada das condições de contorno

2ª Etapa (solução):

- Entrada do tipo de cálculo.

3ª Etapa (pós-processamento):

- Listagem, impressão e visualização dos resultados.

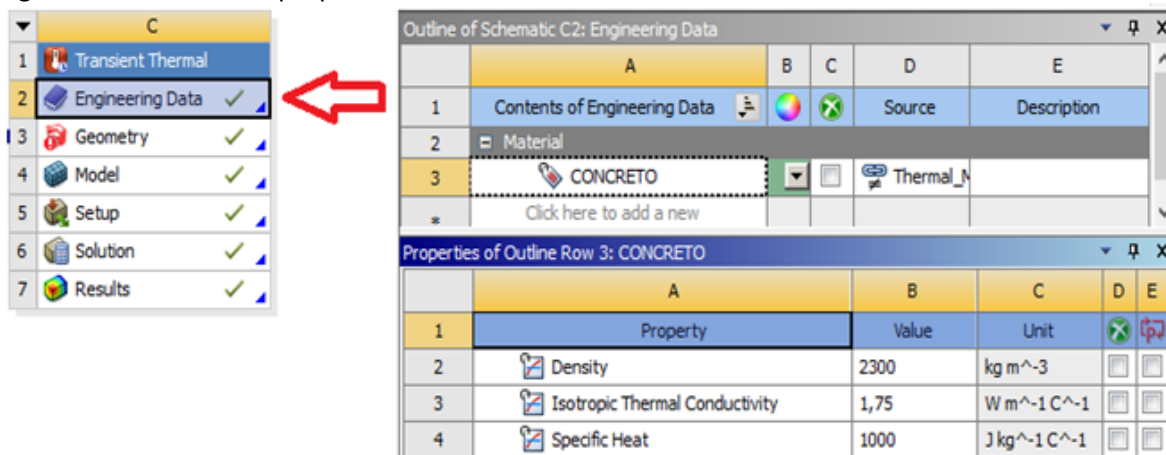
### 3.5.1 Entrada do tipo de elemento

O nosso elemento de estudo foi o SOLID90, por ser o mais indicado para problemas transientes termais, mais detalhes sobre o mesmo foram apresentados no item 2.5.

### 3.5.2 Entrada das propriedades do material (Engineering Data)

Nesse procedimento foi adicionado à lista de materiais já existentes no software o novo material com as propriedades necessárias para o estudo.

Figura 10 - Entrada das propriedades

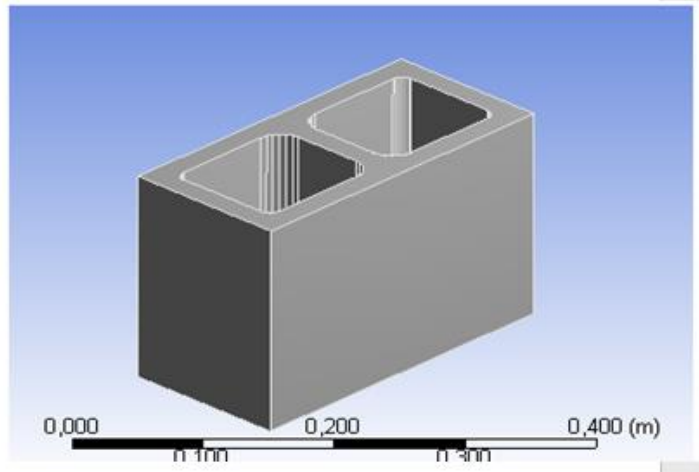
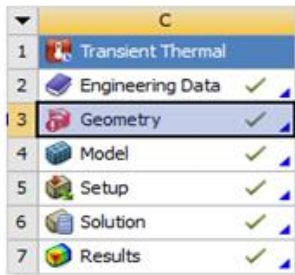


Fonte: o autor.

### 3.5.3 Entrada dos dados geométricos (Geometry)

Os dados geométricos, formato, espessura, área, podem ser desenhados no próprio ANSYS, entretanto no trabalho em questão os desenhos foram importados em formato ".skp", uma extensão do *Google Sketchup*.

Figura 11 - Entrada dos dados



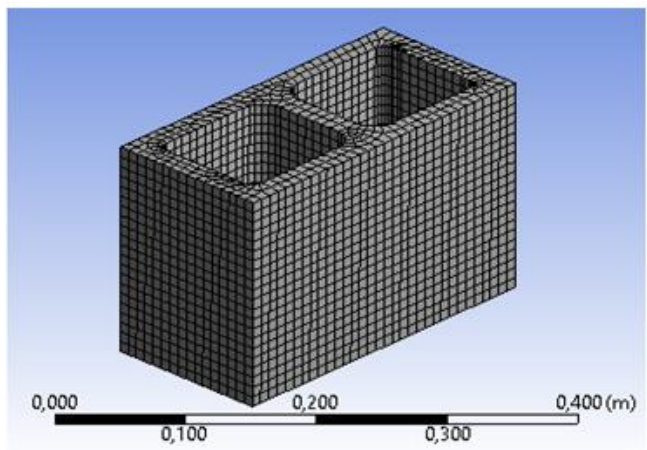
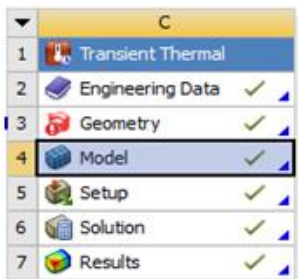
Fonte: o autor.

### 3.5.4 Geração da malha (mesh)

Nesta etapa o sistema é discretizado em elementos sólidos formando assim uma malha. Para obter resultados mais precisos é necessário gerar uma malha mais refinada.

Quanto à geração da malha na geometria em estudo, o ANSYS é um software com capacidade de processamento para microchips e pequenos itens, portanto para um objeto com dimensões próximas a 30 cm optou-se por uma malha de tamanho médio e função adaptativa, a qual atende perfeitamente as necessidades do estudo.

Figura 12 - Escolha de Malha Média



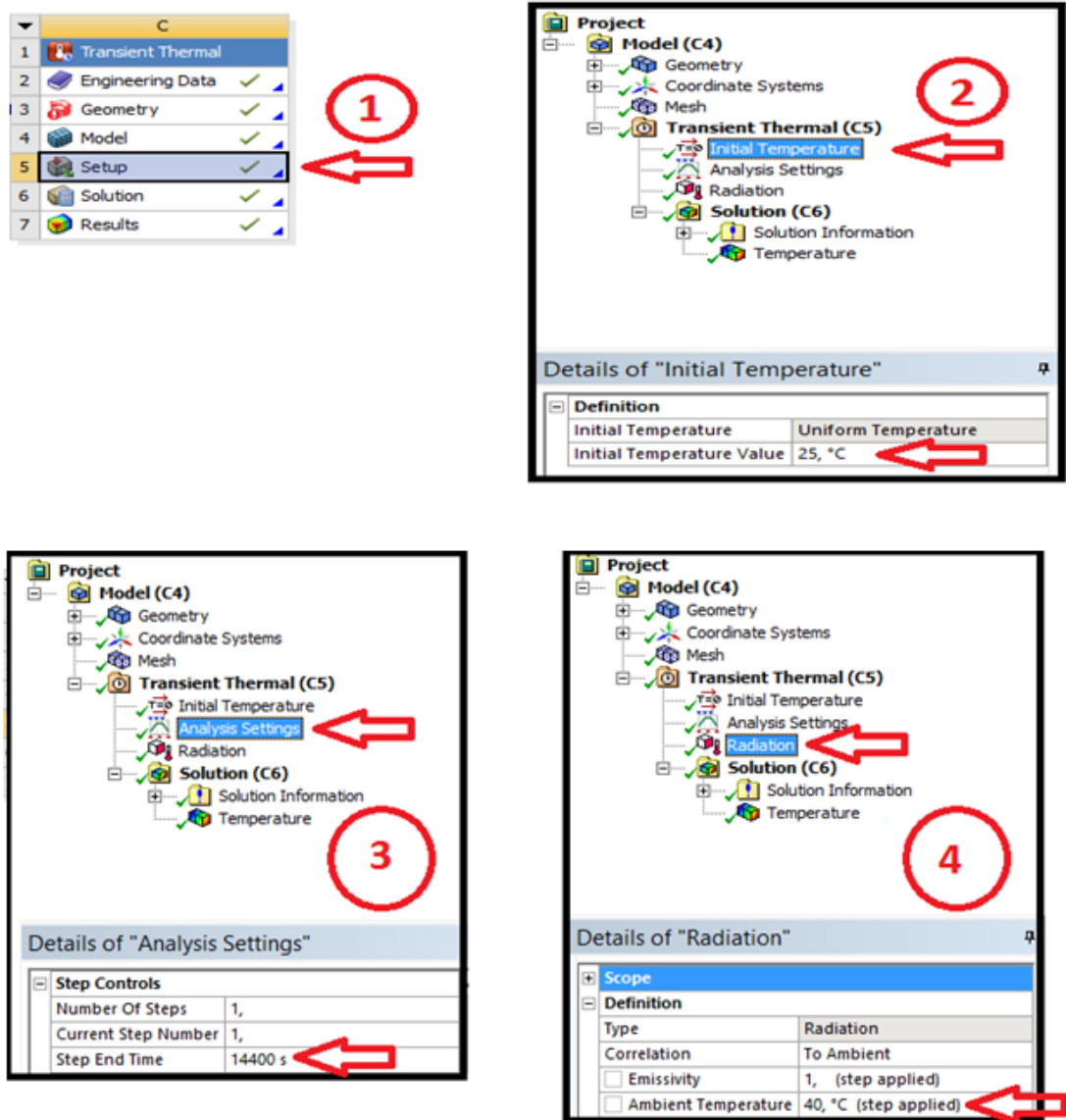
Fonte: o autor.

### 3.5.5 Entrada do carregamento

Os carregamentos adicionados foram do tipo térmico, a temperatura inicial foi estabelecida em 25°C, uma das laterais do bloco foi submetido a um acréscimo de

temperatura por radiação de 40°C durante um período de 14.400s, o equivalente à 4h, ao final da simulação foram analisadas as particularidades de cada concepção.

Figura 13 - Entrada de carregamento.



Fonte: o autor.

### 3.5.6 Entrada das condições do contorno

As entradas de condições de contorno mais complexas normalmente são empregadas em problemas estruturais, no estudo feito a condição de contorno existente será a de imposição de temperatura. Este caso corresponde ao tipo mais simples de condição de contorno, e consiste basicamente em se especificar o valor da temperatura na região.

### 3.5.7 Tipo de cálculo e resultados

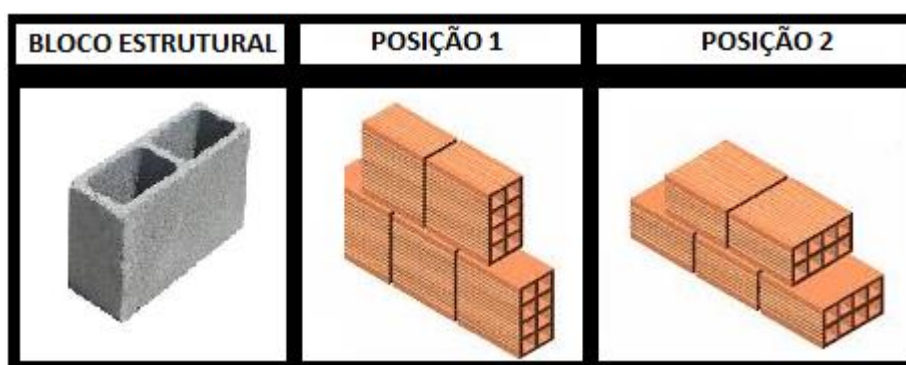
O calculo realizado foi o transiente termal, que foi mostrado no item 3.5.5 como é realizado seu carregamento no software, os resultados são apresentados por meio gráfico e de tabelas, que estão exemplificadas no item 4.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas tabelas 7 a 15 estão expostos os resultados das nove simulações realizadas. No decorrer da simulação foram feitas quinze leituras de dados que permitem construir para cada concepção uma tabela e um gráfico com os dados obtidos, nelas o tempo em que cada caso foi simulado, suas temperaturas internas e externas em função do tempo, assim como o erro de cada leitura dado pelo próprio programa, os índices de erros tem relação direta com a geometria e com a malha utilizada. Para o estudo verificou-se taxas de erro muito baixas, o que confere confiabilidade sobre os dados obtidos.

Para os blocos cerâmicos foi considerado duas posições de assentamento, (posição 1 e posição 2), para o bloco estrutural foi considerado apenas a forma tradicional de assentamento, todas exemplificadas na figura 14, são elas:

Figura 14 - Posição de assentamento dos blocos



Fonte: o autor

#### 4.1 Blocos estruturais em concreto

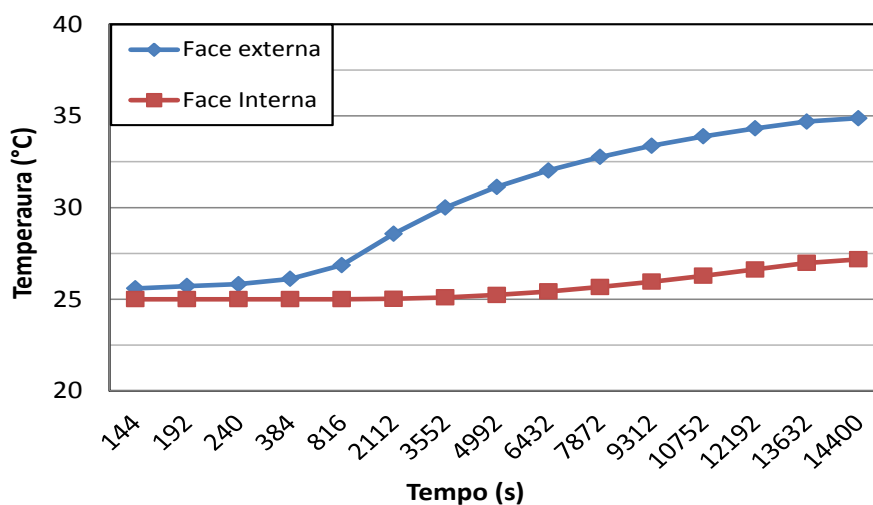
A tabela 7 e a figura 15 expõem os dados obtidos por simulação para a primeira concepção estudada, sendo eles respectivamente, o tempo decorrido na simulação, as temperaturas na face interna e externa e os erros gerados na simulação dos dados, para o bloco estrutural em concreto sem aplicação de argamassa interna e externa.

Tabela 7 - (CASO 1) Aumento da temperatura em função do tempo bloco estrutural em concreto sem argamassa.

Tempo(s)	Face interna (°C)	Face externa (°C)	Erro de confiabilidade (face interna)	Erro de confiabilidade (face externa)
144	25	25,585	6,348E-15	8,872E-05
192	25	25,713	2,826E-15	2,205E-05
240	25	25,822	1,592E-15	1,889E-04
384	25	25,108	3,112E-13	1,594E-04
816	25	26,858	3,354E-13	4,184E-04
2.112	25,022	28,561	2,774E-13	4,643E-04
3.552	25,096	29,997	5,381E-13	3,594E-04
4.992	25,229	31,124	1,853E-12	3,545E-04
6.432	25,421	32,026	1,718E-12	1,992E-04
7.872	25,665	32,762	3,225E-12	2,902E-04
9.312	25,953	33,372	4,080E-10	2,345E-04
10.752	26,273	33,884	3,323E-10	1,647E-04
12.192	26,618	34,320	1,01E-08	2,06E-03
13.632	27,980	34,694	1,675E-12	1,799E-06
14.400	27,176	34,877	1,621E-12	1,754E-06

Fonte: do autor.

Figura 15 - Bloco estrutural em concreto sem argamassa.



Fonte: do autor.

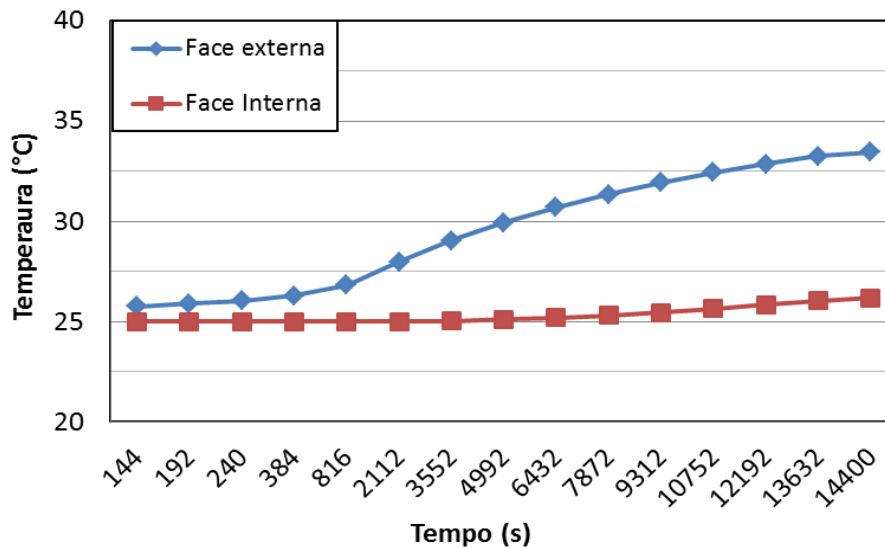
A tabela 8 e a figura 16 expõem os dados obtidos por simulação para a segunda concepção estudada, sendo eles respectivamente, o tempo decorrido na simulação, as temperaturas na face interna e externa e os erros gerados na simulação dos dados, para o bloco estrutural em concreto com aplicação de argamassa tradicional interna e externa.

Tabela 8 - (CASO 2) Aumento da temperatura em função do tempo bloco estrutural em concreto com argamassa tradicional.

Tempo(s)	Face interna (°C)	Face externa (°C)	Erro de confiabilidade (face interna)	Erro de confiabilidade (face externa)
144	25	25,748	3,348E-16	8,872E-05
192	25	25,899	7,526E-16	1,405E-04
240	25	26,020	1,683E-15	1,889E-04
384	25	26,285	3,225E-14	2,902E-04
816	25	26,811	3,354E-12	4,184E-04
2.112	25,007	27,973	2,774E-11	4,643E-04
3.552	25,036	29,037	5,381E-13	3,594E-04
4.992	25,093	29,932	1,853E-12	3,545E-04
6.432	25,181	30,696	1,074E-10	1,726E-04
7.872	25,302	31,355	3,225E-12	2,902E-04
9.312	25,451	31,928	2,119E-12	2,003E-04
10.752	25,627	32,428	1,718E-12	1,992E-04
12.192	25,825	32,867	1,01E-12	2,06E-04
13.632	26,041	33,255	1,80E-12	1,81E-04
14.400	26,160	33,449	1,830E-09	2,321E-03

Fonte: do autor.

Figura 16 - Bloco estrutural em concreto com argamassa tradicional.



Fonte: do autor.

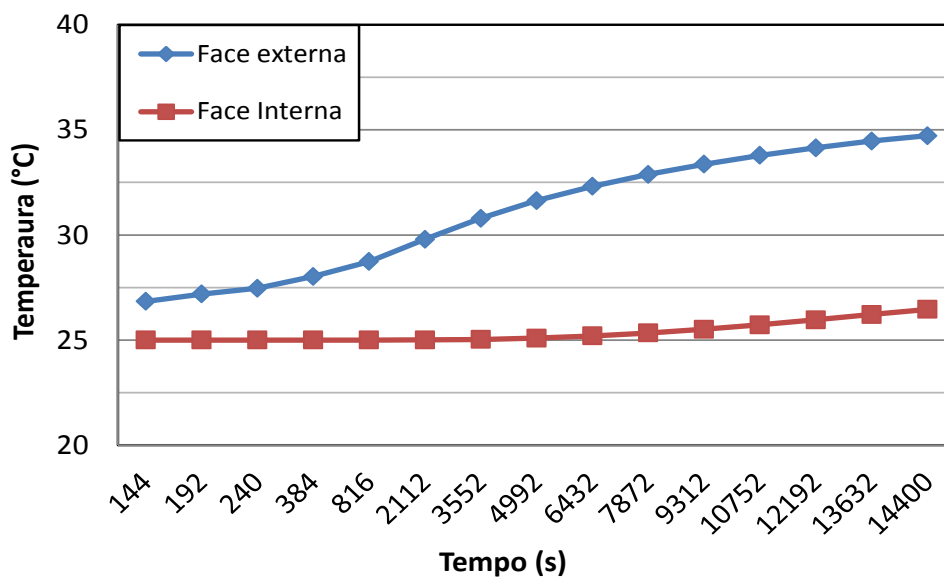
A tabela 9 e a figura 17 expõem os dados obtidos por simulação para a terceira concepção estudada, sendo eles respectivamente, o tempo decorrido na simulação, as temperaturas na face interna e externa e os erros gerados na simulação dos dados, para o bloco estrutural em concreto com aplicação de argamassa celular interna e externa.

Tabela 9 - (CASO 3) Aumento da temperatura em função do tempo bloco estrutural em concreto com argamassa celular.

Tempo(s)	Face interna (°C)	Face externa (°C)	Erro de confiabilidade (face interna)	Erro de confiabilidade (face externa)
144	25	26,840	2,32E-22	8,872E-08
192	25	27,191	3,789E-21	2,210E-07
240	25	27,463	1,372E-20	6,870E-07
384	25	28,021	2,123E-15	3,782E-07
816	25	28,736	1,718E-12	1,992E-06
2.112	25,003	29,795	4,130E-10	2,804E-04
3.552	25,029	30,789	5,334E-10	1,826E-04
4.992	25,091	31,631	8,340E-10	1,810E-04
6.432	25,193	32,313	1,074E-10	1,726E-04
7.872	25,334	32,884	3,660E-10	3,355E-04
9.312	25,512	33,369	4,080E-10	2,345E-04
10.752	25,722	35,787	3,755E-10	1,964E-04
12.192	25,958	34,149	3,323E-10	1,647E-04
13.632	26,214	34,467	2,876E-09	1,382E-04
14.400	26,460	34,725	2,458E-09	1,160E-03

Fonte: do autor

Figura 17 - Bloco estrutural em concreto com argamassa celular.



Fonte: do auto

## 4.2 Blocos cerâmicos de 8 furos

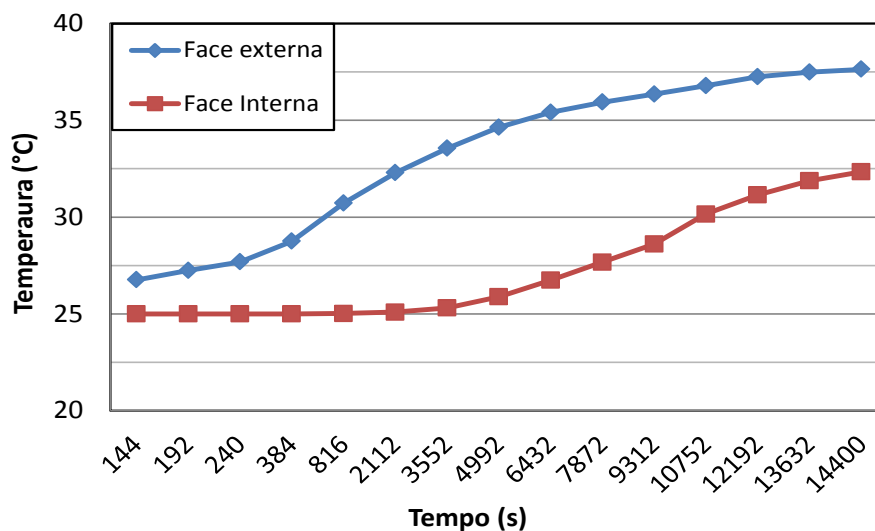
A tabela 10 e a figura 18 expõem os dados obtidos por simulação para a quarta concepção estudada, sendo eles respectivamente, o tempo decorrido na simulação, as temperaturas na face interna e externa e os erros gerados na simulação dos dados, para o bloco cerâmico na posição 1, sem aplicação de argamassa interna e externa.

Tabela 10 - (CASO 4) Aumento da temperatura em função do tempo bloco cerâmico de 8 furos sem argamassa na posição 1.

Tempo(s)	Face interna (°C)	Face externa (°C)	Erro de confiabilidade (face interna)	Erro de confiabilidade (face externa)
144	25	26,750	6,32E-23	8,872E-08
192	25	27,237	3,789E-21	2,210E-07
240	25	27,683	1,372E-21	6,870E-07
384	25	28,746	1,123E-15	1,782E-07
816	25,016	30,713	1,718E-12	1,992E-06
2.112	25,090	32,288	4,130E-10	2,804E-04
3.552	25,307	33,546	5,334E-10	1,826E-04
4.992	25,882	34,639	8,340E-10	1,810E-04
6.432	26,741	35,407	1,074E-10	1,726E-04
7.872	27,671	35,938	3,225E-12	2,902E-04
9.312	28,605	36,348	1,718E-12	1,992E-04
10.752	30,156	36,786	2,119E-12	2,003E-04
12.192	31,148	37,249	1,06E-12	2,26E-04
13.632	31,881	37,486	2,40E-12	2,11E-04
14.400	32,343	37,633	2,120E-10	1,001E-04

Fonte: do autor.

Figura 18 - Bloco cerâmico de 8 furos sem argamassa na posição 1.



Fonte: do autor.

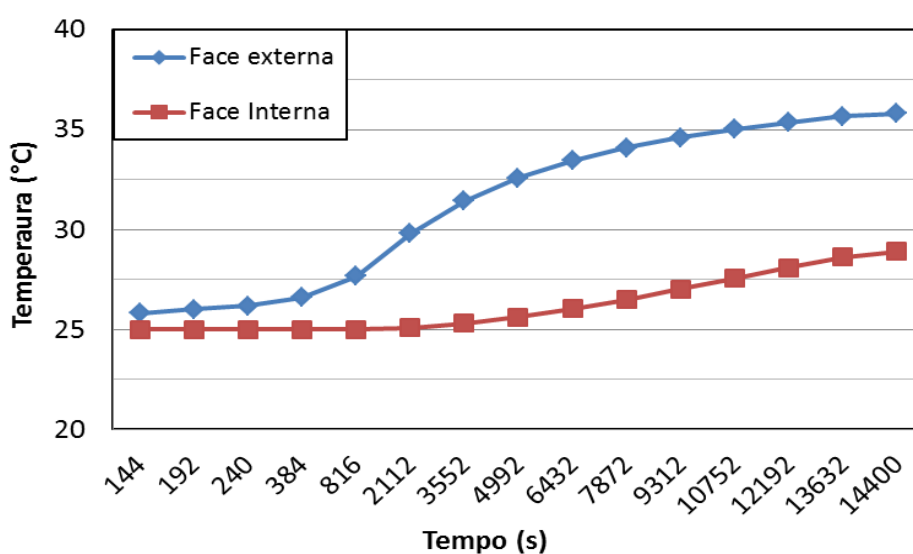
A tabela 11 e a figura 19 expõem os dados obtidos por simulação para a quinta concepção estudada, sendo eles respectivamente, o tempo decorrido na simulação, as temperaturas na face interna e externa e os erros gerados na simulação dos dados, para o bloco cerâmico na posição 1, com aplicação de argamassa tradicional interna e externa.

Tabela 11 - (CASO 5) Aumento da temperatura em função do tempo bloco cerâmico de 8 furos com argamassa tradicional na posição 1.

Tempo(s)	Face interna (°C)	Face externa (°C)	Erro de confiabilidade (face interna)	Erro de confiabilidade (face externa)
144	25	25,812	1,672E-21	9,870E-07
192	25	25,998	3,789E-21	2,410E-07
240	25	26,161	8,570E-21	2,810E-07
384	25	26,591	4,250E-19	3,714E-07
816	25,002	27,656	1,123E-15	5,782E-07
2.112	25,084	29,809	1,221E-13	1,169E-06
3.552	25,295	31,437	4,411E-13	1,594E-06
4.992	25,615	32,590	7,570E-13	1,839E-06
6.432	25,024	33,438	1,043E-12	1,962E-06
7.872	26,495	34,085	1,359E-12	2,003E-06
9.312	27,007	34,597	1,718E-12	1,992E-06
10.752	27,540	35,015	1,890E-12	1,947E-06
12.192	28,082	35,367	1,783E-12	1,880E-06
13.632	28,621	36,670	1,675E-12	1,799E-06
14.400	28,907	35,820	1,621E-12	1,754E-06

Fonte: do autor.

Figura 19 - Bloco cerâmico de 8 furos com argamassa tradicional na posição 1.



Fonte: do autor.

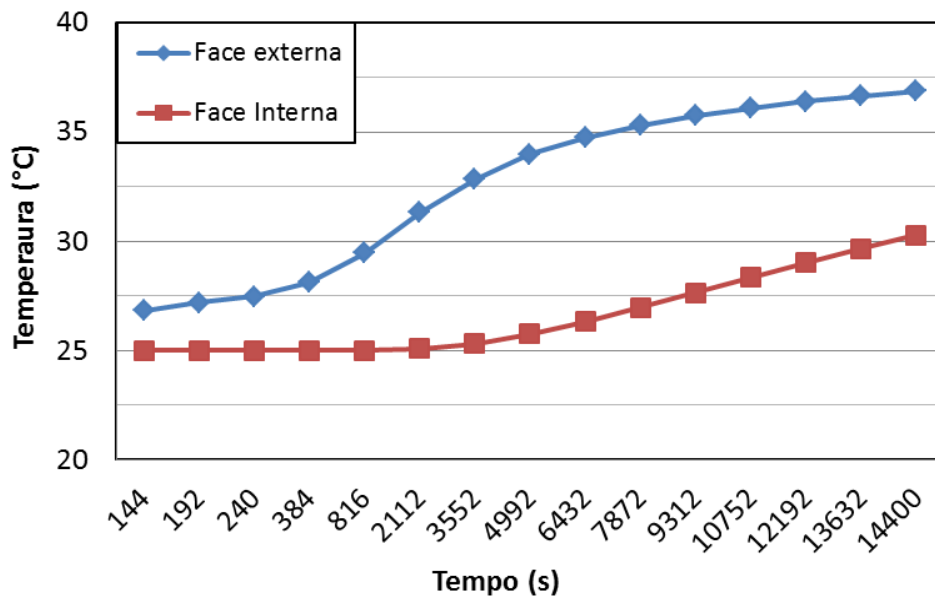
A tabela 12 e a figura 20 expõem os dados obtidos por simulação para a sexta concepção estudada, sendo eles respectivamente, o tempo decorrido na simulação, as temperaturas na face interna e externa e os erros gerados na simulação dos dados, para o bloco cerâmico na posição 1, com aplicação de argamassa celular interna e externa.

Tabela 12 - (CASO 6) Aumento da temperatura em função do tempo bloco cerâmico de 8 furos com argamassa celular na posição 1.

Tempo(s)	Face interna (°C)	Face externa (°C)	Erro de confiabilidade (face interna)	Erro de confiabilidade (face externa)
144	25	26,815	1,672E-21	8,870E-07
192	25	27,173	3,789E-21	2,410E-07
240	25	27,456	7,570E-21	2,810E-07
384	25	28,101	4,250E-19	3,714E-07
816	25,005	29,468	1,123E-15	5,782E-07
2.112	25,074	31,303	1,221E-13	1,169E-06
3.552	25,307	32,834	4,411E-13	1,594E-06
4.992	25,757	33,977	6,570E-13	1,839E-06
6.432	26,328	34,749	1,043E-12	1,962E-06
7.872	26,971	35,309	1,359E-12	2,003E-06
9.312	27,648	35,741	1,718E-12	1,992E-06
10.752	28,333	36,092	7,157E-10	1,464E-04
12.192	29,008	36,389	6,903E-10	1,289E-04
13.632	29,662	36,649	6,448E-10	1,134E-04
14.400	30,267	36,873	5,920E-10	1,001E-04

Fonte: do autor.

Figura 20 - Bloco cerâmico de 8 furos com argamassa celular na posição 1.



Fonte: do autor.

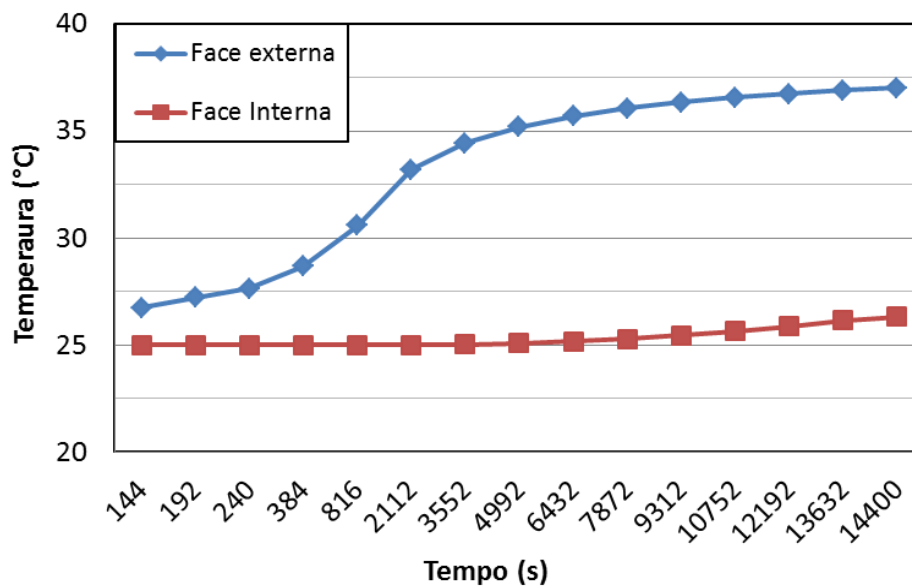
A tabela 13 e a figura 21 expõem os dados obtidos por simulação para a sétima concepção estudada, sendo eles respectivamente, o tempo decorrido na simulação, as temperaturas na face interna e externa e os erros gerados na simulação dos dados, para o bloco cerâmico na posição 2, sem aplicação de argamassa interna e externa.

Tabela 13 - (CASO 7) Aumento da temperatura em função do tempo bloco cerâmico de 8 furos sem argamassa na posição 2.

Tempo(s)	Face interna (°C)	Face externa (°C)	Erro de confiabilidade (face interna)	Erro de confiabilidade (face externa)
144	25	26,727	4,24E-23	2,810E-07
192	25	27,205	6,32E-23	3,714E-07
240	25	27,640	7,570E-21	1,782E-07
384	25	28,671	4,250E-19	1,169E-06
816	25	30,576	1,123E-15	1,594E-06
2.112	25,003	33,186	1,221E-13	1,839E-06
3.552	25,018	34,433	3,112E-13	1,962E-06
4.992	25,067	35,188	3,570E-13	2,003E-06
6.432	25,154	35,687	1,043E-12	2,992E-06
7.872	25,281	36,050	1,359E-12	9,330E-06
9.312	25,448	36,330	1,718E-12	1,770E-05
10.752	25,649	36,557	7,157E-10	2,464E-04
12.192	25,879	36,746	1,06E-12	2,261E-04
13.632	26,132	36,908	2,40E-12	2,111E-04
14.400	26,313	37,007	2,120E-10	3,001E-04

Fonte: do autor.

Figura 21 - Bloco cerâmico de 8 furos sem argamassa na posição 2.



Fonte: do autor.

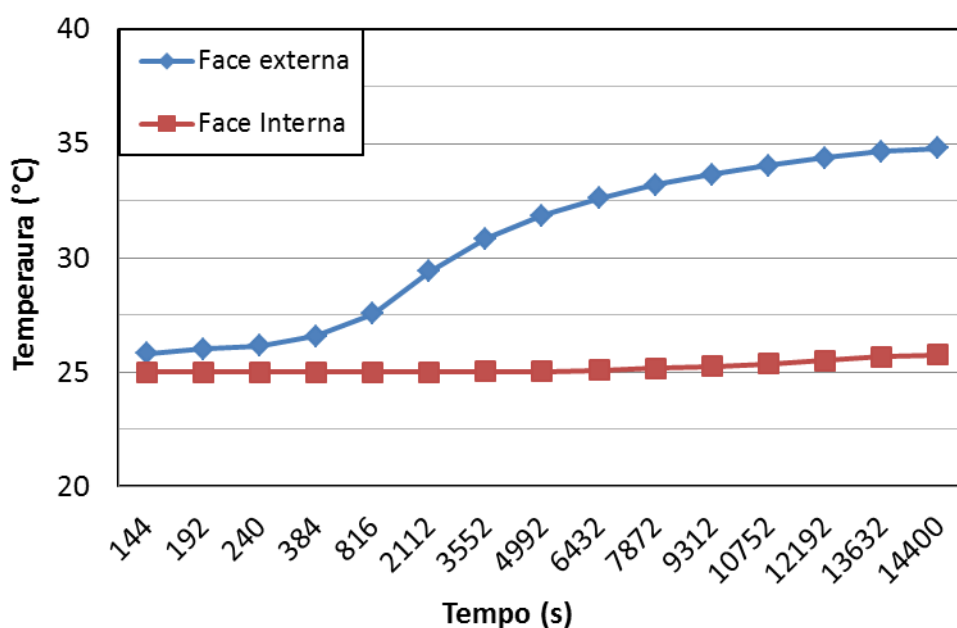
A tabela 14 e a figura 22 expõem os dados obtidos por simulação para a oitava concepção estudada, sendo eles respectivamente, o tempo decorrido na simulação, as temperaturas na face interna e externa e os erros gerados na simulação dos dados, para o bloco cerâmico na posição 2, com aplicação de argamassa tradicional interna e externa.

Tabela 14 - (CASO 8) Aumento da temperatura em função do tempo bloco cerâmico de 8 furos com argamassa tradicional na posição 2.

Tempo(s)	Face interna (°C)	Face externa (°C)	Erro de confiabilidade (face interna)	Erro de confiabilidade (face externa)
144	25	25,809	1,372E-21	6,870E-07
192	25	25,993	3,789E-21	2,210E-07
240	25	26,153	7,570E-21	2,810E-07
384	25	26,570	4,250E-19	3,714E-07
816	25	27,558	1,123E-19	5,782E-07
2.112	25,002	29,407	1,383E-18	8,760E-06
3.552	25,012	30,831	1,718E-14	1,992E-06
4.992	25,036	31,842	6,570E-13	1,839E-06
6.432	25,081	32,597	1,043E-12	1,962E-06
7.872	25,149	33,183	1,359E-12	2,003E-06
9.312	25,243	33,653	1,718E-12	1,992E-05
10.752	25,362	34,041	2,203E-12	1,791E-04
12.192	25,503	34,367	5,106E-12	1,773E-04
13.632	25,666	34,647	8,232E-12	1,705E-04
14.400	25,765	34,792	5,920E-10	1,001E-04

Fonte: do autor.

Figura 22 - Bloco cerâmico de 8 furos com argamassa tradicional na posição 2.



Fonte: do autor.

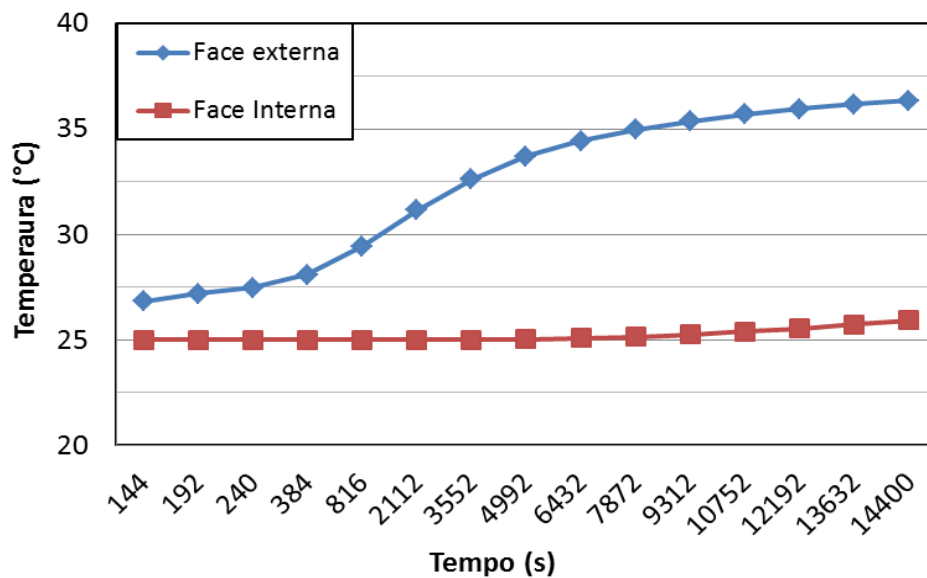
A tabela 15 e a figura 23 expõem os dados obtidos por simulação para a nona concepção estudada, sendo eles respectivamente, o tempo decorrido na simulação, as temperaturas na face interna e externa e os erros gerados na simulação dos dados, para o bloco cerâmico na posição 2, com aplicação de argamassa celular interna e externa.

Tabela 15 - (CASO 9) Aumento da temperatura em função do tempo para bloco cerâmico de 8 furos com reboco celular na posição 2.

Tempo(s)	Face interna (°C)	Face externa (°C)	Erro de confiabilidade (face interna)	Erro de confiabilidade (face externa)
144	25	26,815	4,24E-23	1,782E-07
192	25	27,171	6,32E-23	1,77E-07
240	25	27,452	7,570E-21	2,810E-07
384	25	28,089	4,250E-19	3,714E-07
816	25	29,420	1,123E-15	9,33E-06
2.112	25,001	31,140	1,221E-13	1,169E-06
3.552	25,006	32,603	3,112E-13	1,594E-06
4.992	25,028	33,689	3,570E-13	1,839E-06
6.432	25,074	34,426	1,043E-12	1,962E-06
7.872	25,147	34,960	1,359E-12	2,003E-06
9.312	25,249	35,365	1,718E-12	1,992E-06
10.752	25,382	35,686	3,06E-12	1,464E-04
12.192	25,542	35,948	1,06E-12	2,26E-04
13.632	25,726	36,168	2,40E-12	2,11E-04
14.400	25,924	36,351	2,120E-10	1,001E-04

Fonte: do autor.

Figura 23 - Bloco cerâmico de 8 furos com reboco celular na posição 2.



Fonte: do autor.

### 4.3 Análise da relação entre a malha e o erro acumulado.

Os elementos finitos utilizados na discretização (subdivisão) do domínio do estudo são conectados entre si através de determinados pontos, denominados nós ou pontos nodais. Ao conjunto de elementos finitos e pontos nodais, dá-se, usualmente o nome de malha de elementos finitos.

Com base da obtenção feita das quantidades de nós e elementos gerados, e do erro acumulado obtido da soma de todos os erros de cada concepção listados nas tabelas dos itens 4.1 e 4.2, foi estabelecido uma relação entre esses indicadores, onde à medida que a divisão entre a quantidade de nós e a quantidade de elementos tende ao infinito positivamente, a precisão dos dados obtidos também é crescente, como apresentado na tabela 16.

Tabela 16 - Relação entre nós e elementos

<b>Casos estudados</b>	<b>Número de nós</b>	<b>Número de elementos</b>	<b>Relação de nós por elementos</b>	<b>Erro acumulado</b>
Estrutural sem argamassa	34230	5796	5,906	0,00890
Estrutural com argamassa tradicional	42879	4876	8,794	0,00557
Estrutural com argamassa celular	42879	4876	8,794	0,00305
Cerâmico sem argamassa na posição 1	36655	3676	9,971	0,00205
Cerâmico com argamassa tradicional na posição 1	47527	2808	16,926	0,00002
Cerâmico com argamassa celular na posição 1	47527	2808	16,926	0,00050
Cerâmico sem argamassa na posição 2	36655	3676	9,971	0,00102
Cerâmico com argamassa tradicional na posição 2	47527	2808	16,926	0,00066
Cerâmico com argamassa celular na posição 2	47527	2808	16,926	0,00072

Fonte: o autor.

Como explicado por SOUZA (2003). A precisão do método depende da quantidade de nós e elementos, e do tamanho e tipo dos elementos presentes na malha. Um dos aspectos mais importantes do método dos elementos finitos diz respeito a sua convergência. Embora se trate de um método aproximado, pode-se demonstrar que em uma malha consistente que é quando o tamanho dos elementos finitos tende a zero, e conseqüentemente, a quantidade de nós tende a infinito, a solução obtida converge para a solução exata do problema.

#### 4.4 Análise da resistência térmica e variação de temperatura final

Após todas as simulações obtiveram-se gráficos que mostrou o quanto as temperaturas das faces externas e internas se distanciaram em função do tempo, efeito ocasionado devido as diferentes resistências térmicas e transmitância de cada caso de em estudo. Essas análises por elementos finitos permitiram quantificar o valor da variação de temperatura final de cada caso, apresentados na tabela abaixo.

Tabela 17 - Variação de temperatura final.

<b>Tempo(s)</b>	<b>Face interna (°C)</b>	<b>Face externa (°C)</b>	<b>Variação (°C)</b>
Estrutural sem argamassa	27,176	34,877	7,701
Estrutural com argamassa tradicional	26,160	33,449	7,289
Estrutural com argamassa celular	26,460	34,725	8,265
Cerâmico sem argamassa na posição 1	32,343	37,633	5,290
Cerâmico com argamassa tradicional na posição 1	28,907	35,82	6,913
Cerâmico com argamassa celular na posição 1	30,267	36,873	6,606
Cerâmico sem argamassa na posição 2	26,313	37,007	10,694
Cerâmico com argamassa tradicional na posição 2	25,765	34,792	9,027
Cerâmico com argamassa celular na posição 2	25,924	36,351	10,427

Fonte: o autor.

Quanto maior a variação final de temperatura, maior a quantidade de calor perdida entre as faces, no entanto não podemos fazer a relação direta de quanto maior a variação menor será a temperatura na face interna do bloco, pois temos que considerar outras variáveis, as quais serão expostas adiante, a exemplo do CASO 2 que teve uma das menores temperaturas na face interna do bloco, igual 26,16°C, no entanto não desponta entre as maiores variações térmicas, sendo de 7,289°C.

#### 4.5 Análise da capacidade térmica e variação de temperatura inicial

Após todas as simulações foram obtidos gráficos que nos mostram o quanto as temperaturas externas e internas se distanciaram em função do tempo. Constatou-se que começo de cada gráfico tem uma diferença de temperatura ocasionada devido as

diferentes capacidades térmicas de cada caso em estudo, com essa análise por elementos finitos podemos quantificar o valor da variação de temperatura inicial de cada caso presente na tabela seguinte.

Tabela 18 - Variação de temperatura inicial.

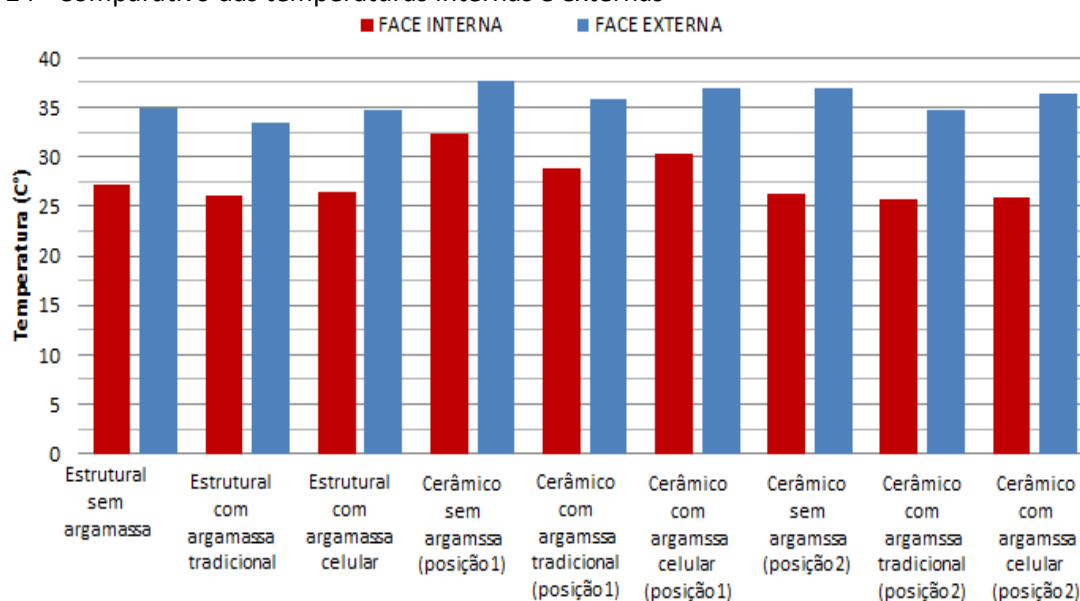
<b>Tempo(s)</b>	<b>Face interna (°C)</b>	<b>Face externa (°C)</b>	<b>Variação (°C)</b>
Estrutural sem argamassa	25	25,585	0,585
Estrutural com argamassa tradicional	25	25,748	0,748
Estrutural com argamassa celular	25	26,840	1,840
Cerâmico sem argamassa na posição 1	25	26,750	1,750
Cerâmico com argamassa tradicional na posição 1	25	25,812	0,812
Cerâmico com argamassa celular na posição 1	25	26,815	1,815
Cerâmico sem argamassa na posição 2	25	26,727	1,727
Cerâmico com argamassa tradicional na posição 2	25	25,809	0,809
Cerâmico com argamassa celular na posição 2	25	26,815	1,815

Fonte: do autor.

As maiores variações de temperatura iniciais estão ligados à capacidade térmica dos materiais, logo correlacionados à sua densidade de massa aparente, isso faz com que a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema seja maior naqueles de maior densidade, pois acaba por ter uma maior inércia térmica, fato esse que é verificado pela variação térmica nos momentos iniciais de simulação, verificou-se que nos casos em que foi utilizado o argamassa celular, que é o material de menor densidade que foi utilizado, a variação inicial tende a ser mais elevado, uma vez que ele tem menor inercia térmica, entretanto os resultados a respeito das argamassas celulares tem grandes margens de erro no ensaios, uma vez que não estar levando em consideração a alta porosidade do material.

Para uma melhor visualização dos valores obtidos em cada simulação, a figura 24 a seguir apresenta as temperaturas finais, externa e interna de cada concepção.

Figura 24 - Comparativo das temperaturas internas e externas



Fonte: o autor.

#### 4.6 Considerações gerais sobre as variações de temperaturas estudadas

Com os resultados das tabelas 7 a 15 e seus respectivos gráficos, e com o que foi discutido nos itens 4.3 e 4.4, observou-se que os blocos estruturais tem temperaturas internas finais inferiores aos blocos cerâmicos assentados na posição 1, em média uma diferença de 3,907°C, que confere maior conforto térmico em regiões que necessitam de paredes consideradas pesadas, a exemplo da zona bioclimática 7, como explicado na tabela 1, todavia em relação aos blocos cerâmicos na posição 2, a parede de blocos estruturais mostrou-se ter temperaturas na face interna em média 0,598°C superiores. No entanto tal resultado já era esperado por conta das diferentes dimensões de cada opção, dimensões essas que são influências diretas na inércia térmica, todavia se comparado os resultados dos blocos estruturais entre si e diferenciando apenas seu revestimento, vemos que os resultados finais de temperatura interna estão próximos, o mesmo vale se compararmos os blocos cerâmicos, deve-se isso a como uma característica do material compensa a outra. Materiais com menor condutividade térmica e menor massa, a exemplo da argamassa celular, obtém bons resultados de resistência térmica, todavia resultados insatisfatórios de capacidade térmica. O oposto acontece com materiais como

o bloco de concreto sem reboco, que das simulações realizadas foi o que obteve menor variação inicial, mostrando uma boa capacidade térmica, no entanto devido à sua alta condutividade, suas temperaturas finais na face interna são superiores a dos blocos estruturais com reboco.

#### **4.7 Considerações gerais de custo sobre as variações de temperatura**

Como explicado no item 2.6, chegou-se ao valor médio de acréscimo no custo do consumo energético residencial, os dados encontrados por Andrade e Sant'anna (2013), não são aplicáveis no estudo realizado nesse trabalho afim de quantificar valores próximos de quanto cada concepção pode representar na economia energética, entretanto é considerável a relação direta da escolha da concepção do bloco com a economia da conta de energia.

Com tal economia estimada na utilização do bloco em questão, pode-se perceber uma exemplificação da influência da temperatura sobre o consumo de energia elétrica, economia essa que tem importância no que diz respeito à preservação de recursos naturais quanto à eletricidade, um melhor resultado no que se refere ao impacto ambiental, reduzindo o consumo de bens naturais e barateando custos relacionados a aparelhos elétricos utilizados para a manutenção da temperatura ambiente.

A importância econômica levantada no estudo traz uma percepção de que a tentativa de haver uma diminuição na temperatura ambiente com a utilização do instrumento estudado, além de alterar de forma positiva os custos de indivíduos particulares, também auxilia economicamente nos custos gerais com energia elétrica, podendo-se dizer até de forma sustentável.

## 5. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos no presente estudo foi possível fazer as seguintes conclusões:

- Os blocos estruturais, isoladamente, tem um decaimento de temperatura superior aos blocos cerâmicos, todavia as combinações entre os tipos de argamassa e posicionamentos dos blocos cerâmicos podem fazer com que haja decaimentos superiores ao estrutural, decaimentos esses que foram quantificados através da simulação por métodos dos elementos finitos. Toda teoria dos comportamentos térmicos pode dar a ideia de qual elemento trará esse decaimento térmico, mas através da modelagem computacional além de termos a noção, temos valores quase que com exatidão.
- Não basta apenas um material ter um tipo de característica satisfatória, no que diz respeito à diminuição de temperaturas em locais quentes que compreende a maior parte do território nacional. O material constituinte das paredes de uma edificação precisa ter um equilíbrio entre suas propriedades, principalmente a resistência e a capacidade térmica.
- Existe uma importância do ponto de vista econômico na escolha do tipo de concepção da parede, uma vez que ela faz com que a diminuição da temperatura interna permita menos uso de equipamentos como ar-condicionado e ventiladores, diminuindo o gasto mensal com energia elétrica, gerando, por consequência, uma influência positiva no meio ambiente.
- Mais do que a ideia de qual concepção é mais favorável em climas quentes a exemplo de Barreiras-BA, a modelagem computacional apresenta valores quase exatos do tamanho da variação térmica, mostrando que dentre as concepções analisadas nesse trabalho, o bloco cerâmico deitado tem resultados mais satisfatórios de amortecimento térmico.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros são feitas as seguintes sugestões:

- Avaliar o desempenho de argamassas que tentem misturar as propriedades de diferentes argamassas a fim de obter uma nova composição que ajude no conforto térmico, fazer sua modelagem computacional com as propriedades necessárias e posteriormente partir para testes experimentais.
- Realizar análise térmica de uma forma macro, levando-se em conta uma arquitetura residencial hipotética, aplicando os dados obtidos nos blocos nesse trabalho ao software energy2D.
- Modelar de forma semelhante ao feito nesse trabalho, aplicando a janelas duplas com câmara de ar entre as faces.

## 7. REFERÊNCIAS

**ANDRADE, G N. SANT'ANNA, P A.** ESTIMATIVA DO IMPACTO DAS VARIAÇÕES DE TEMPERATURA SOBRE O CONSUMO RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA NO RIO DE JANEIRO. RIO DE JANEIRO, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS, **ABNT NBR 15.220: Desempenho térmico de Edificações:** Referencia: elaboração. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS, **ABNT NBR 15.575: Edificações habitacionais – Desempenho:** Referencia: elaboração. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS, **ABNT NBR 6023: Informação e documentação: apresentação de citações em documentos.** Rio de Janeiro, RJ: ABNT, agosto, 2002.

BARRIOS, A N S. **Modelagem térmica para avaliação da Temperatura no fresamento de aços para Moldes e matrizes.** Universidade estadual paulista “Júlio de mesquita filho”. Ilha Solteira, 2013.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais:** guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013 — Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CARVALHO, P. P. **Desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social com paredes de concreto armado da zona bioclimática 2 brasileira.** 2012. 108 f. mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

GOUVEIA, H. L. V. **Indicadores de Desempenho de projetos em Habitações de Interesse Social no Brasil.** Brasília, 2013 176f. mestrado na faculdade de tecnologia – Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

KAPPAUN, K. **Avaliação do desempenho térmico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2 brasileira.** 2012. 125 f. mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações.** 2011. 196 f. Notas de aula. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

LAMBERTS, R. MARINOSKI, L. TRIANA, M. A. VERSAGE, R. SORGATO, M. J. MORISHITA, C. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas.** Universidade federal de Santa Catarina departamento de engenharia civil. Florianópolis, 2010.

LAMBERTS, R. TRIANA, M. A. **Projeto tecnologias para construção habitacional mais sustentável** – Projeto Finep 2386/04. São Paulo, 2007.

MIRLISENNA, G. **Método dos elementos finitos: o que é?** – disponível em: <<http://www.esss.com.br/blog/2016/01/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>>,

Acesso em: 14 de julho, 2017

PEREIRA, V. L. S. **Análise de desempenho de projetos e confortos térmico e lumínico de habitações de interesse social: estudo de caso em Bom Jesus da Lapa/BA.** Universidade Federal do Oeste da Bahia. Barreiras, 2015.