



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO ENGENHARIA MECÂNICA**

ARTHUR CARVALHO LIMA BATISTA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE ALVENARIAS POR SIMULAÇÕES
TÉRMICAS COMPUTACIONAIS**

TERESINA

2020

ARTHUR CARVALHO LIMA BATISTA

ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE ALVENARIAS POR SIMULAÇÕES
TÉRMICAS COMPUTACIONAIS

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí. Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Msc. Anderson Felipe Chaves Fortes.

TERESINA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Batista, Arthur Carvalho Lima

B328a Análise de desempenho térmico de alvenarias por simulações térmicas
computacionais / Arthur Carvalho Lima Batista. - 2020.
80 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)

- Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2020.

Orientador : Prof. Me. Anderson Felipe Chaves Fortes.

1. Simulação térmica. 2. Isolamento térmico. 3. Conforto térmico. I.Título.

CDD - 620

Elaborado por Sindya Santos Melo CRB 3/1085

ARTHUR CARVALHO LIMA BATISTA

ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE ALVENARIAS POR SIMULAÇÕES
TÉRMICAS COMPUTACIONAIS

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Engenharia Mecânica do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí. Campus Teresina Central.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Anderson Felipe Chaves Fortes (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Prof. Dr. XXXXXXXXX XXXXXXXX
Instituição XXXXXXXXX

Prof. Prof. Dr. XXXXXXXXX XXXXXXXX
Instituição XXXXXXXXX

Aos pais, familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças para chegar até esse momento.

Aos meus pais, familiares e amigos, por todo o apoio, ajuda e companhia ao longo desses anos.

A todos os professores e servidores do IFPI do Campus Teresina Central, que fizeram parte da minha formação acadêmica.

“No meio da dificuldade
encontra-se a oportunidade”.

Albert Einstein

RESUMO

Nos últimos anos a busca por conforto térmico tem ganhado cada vez mais destaque por ser o principal objetivo de um sistema de climatização e, quando bem projetado, garante o bem-estar dos ocupantes, eficiência energética e um melhor rendimento do seu desempenho. Este trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho térmico de dois tipos de alvenarias: bloco de concreto e bloco cerâmico, através de simulações computacionais e determinar qual material proporcionará a melhor condição térmica para o ambiente. A ferramenta utilizada nas simulações foi o software ANSYS® *Fluent*. Este trabalho foi dividido em duas etapas, na qual, a primeira etapa teve o objetivo de validar a metodologia aplicada na simulação comparando com resultados de um trabalho previamente definido. A segunda etapa aconteceu após a validação. Esta consistiu em simular uma residência com a metodologia validada e utilizar as condições de contorno relativas à região de Teresina, no estado do Piauí. Entre os resultados obtidos, se destacou o bloco cerâmico com uma melhor qualidade de isolamento térmica, na qual ao longo do dia possuiu uma temperatura inferior em relação ao bloco de concreto, que por sua vez apresentou temperaturas baixas somente no horário da noite. Desse modo, a metodologia utilizada nesse trabalho pode ser usada como ponto de partida para novos estudos e simulações de outros tipos de materiais, condições de contorno e ambientes, com a finalidade de determinar qual material melhor se adequa às necessidades do projeto.

Palavras-chave: Simulação térmica. Isolamento térmico. Conforto térmico.

ABSTRACT

In the last few years, searches for thermal comfort has gained more and more prominence due to the main objective of achieve a better performance of the air conditioning systems, which if well designed ensure a well-being for the occupants, energy efficiency and a better performance. This work aimed to evaluate the thermal performance of two types of plumbing, concrete block and ceramic block, through computer simulations and determine which material provide the best thermal condition for the environment. The tool used in simulations was ANSYS ® Fluent software. This work was divided into two stages, in which the first stage aimed to validate the methodology applied in the simulation comparing results of a previously defined work. The second step happens after the validation. This consists in simulating a residence with the validated methodology and uses the boundary conditions relative to the region of Teresina in the state of Piauí. Among the results obtained, stood out the brick block with a better quality of thermal insulation, which throughout the day has a lower temperature than the concrete block, which in turn it had a lower temperature just at night time. In this way, the methodology used in this work can be used as a starting point for new studies and simulations of other types of materials, boundary conditions and environments, in order to determine which material best suits the needs of the project.

Keywords: Thermal simulation. Thermal insulation. Thermal comfort.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica.....	21
Gráfico 2	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto.....	21
Gráfico 3	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica/concreto....	21
Gráfico 4	- Distribuição da temperatura dos blocos de cerâmica na residência	21
Gráfico 5	- Distribuição da temperatura dos blocos de concreto na residência.....	21
Gráfico 6	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica/concreto na residência.....	21
Figura 1	- Formas de transferência de calor.....	21
Figura 2	- Transferência de calor por radiação.....	23
Figura 3	- Fluxograma de atividades.....	30
Figura 4	- Vista isométrica do protótipo.....	30
Figura 5	- Corte da vista isométrica da geometria.....	30
Figura 6	- Protótipo pós-geração da malha.....	30
Figura 7	- Configurações do <i>Solar Ray Tracing</i>	21
Figura 8	- Vista superior do modelo residencial.....	21
Figura 9	- Vista isométrica do modelo residencial.....	21
Figura 10	- Vista isométrica do modelo pós-geração de malha.....	21
Figura 11	- Condições de contorno da geometria do modelo residencial...	21
Figura 12	- Configurações do <i>Solar Ray Tracing</i> da residência.....	21
Figura 13	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 9:00 na vista lateral.....	21

Figura 14	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 9:00 na vista isométrica.....	21
Figura 15	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 12:00 na vista lateral.....	21
Figura 16	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 12:00 na vista isométrica.....	21
Figura 17	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 16:00 na vista lateral.....	21
Figura 18	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 16:00 na vista isométrica.....	21
Figura 19	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 19:00 na vista lateral.....	21
Figura 20	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 19:00 na vista isométrica.....	21
Figura 21	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 9:00 na vista lateral.....	21
Figura 22	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 9:00 na vista isométrica.....	21
Figura 23	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 12:00 na vista lateral.....	21
Figura 24	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 12:00 na vista isométrica.....	21
Figura 25	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 17:00 na vista lateral.....	21
Figura 26	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 17:00 na vista isométrica.....	21
Figura 27	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 22:00 na	21

	vista lateral.....	
Figura 28	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 22:00 na vista isométrica.....	21
Figura 29	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 9:00 da parede da residência.....	21
Figura 30	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 9:00 da parede/caixa de ar da residência.....	21
Figura 31	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 12:00 da parede da residência.....	21
Figura 32	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 12:00 da parede/caixa de ar da residência.....	21
Figura 33	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 17:00 da parede da residência.....	21
Figura 34	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 17:00 da parede/caixa de ar da residência.....	21
Figura 35	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 22:00 da parede da residência.....	21
Figura 36	- Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 22:00 da parede/caixa de ar da residência.....	21
Figura 37	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 9:00 da parede da residência.....	21
Figura 38	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 9:00 da parede/caixa de ar da residência.....	21
Figura 39	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 12:00 da parede da residência.....	21
Figura 40	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 12:00 da parede/caixa de ar da residência.....	21

Figura 41	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 17:00 da parede da residência.....	21
Figura 42	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 17:00 da parede/caixa de ar da residência.....	21
Figura 43	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 22:00 da parede da residência.....	21
Figura 44	- Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 22:00 da parede/caixa de ar da residência.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Conforto térmico x Performace.....	15
Tabela 2	– Comparativo entre bloco de concreto e bloco cerâmico.....	17
Tabela 3	– Condutibilidade térmica.....	20
Tabela 4	– Transmitância térmica.....	22
Tabela 5	– Vantagens e desvantagens do bloco cerâmico.....	23
Tabela 6	– Vantagens e desvantagens do bloco de concreto.....	25
Tabela 7	– Parâmetros da configuração da malha do protótipo.....	26
Tabela 8	– Propriedades do concreto e cerâmica.....	26
Tabela 9	– Propriedades do ar.....	26
Tabela 10	– Parâmetros da configuração da malha do modelo residencial.....	26
Tabela 11	– Temperatura média para os dias 8, 9 e 10 de outubro de 2019.....	26
Tabela 12	– Temperatura média do protótipo de cerâmica.....	26
Tabela 13	– Temperatura média do protótipo de concreto.....	26
Tabela 14	– Temperatura média do bloco de cerâmica do modelo residencial....	26
Tabela 15	– Temperatura média do bloco de concreto do modelo residencial....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CFD	Computational Fluid Dynamics
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
REHVA	Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations

LISTA DE SÍMBOLOS

- % Porcentagem
- © Copyright
- ® Marca registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS.....	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
1.2	JUSTIFICATIVA.....	18
1.3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
1.3.1	Conforto térmico.....	19
1.3.2	Formas de transferência de calor.....	19
1.3.2.1	Condução.....	20
1.3.2.2	Convecção.....	21
1.3.2.3	Radiação.....	23
1.3.3	ISOLAMENTO TÉRMICO E PRINCIPAIS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS.....	24
1.3.3.1	Condutibilidade térmica.....	24
1.3.3.2	Transmitância térmica.....	25
1.3.3.3	Resistência térmica.....	25
1.3.4	Carga térmica.....	26
1.3.5	Características dos blocos cerâmicas e blocos de concreto.....	27
1.3.5.1	Bloco cerâmico.....	27
1.3.5.2	Bloco de concreto.....	28

1.3.6	Simulação computacional.....	28
2	METODOLOGIA	31
2.1	PRIMEIRA ETAPA	32
2.1.1	Escolha do trabalho experimental e considerações gerais.....	32
2.1.2	Modelagem da geometria.....	33
2.1.3	Geração da malha.....	34
2.1.4	Definição das condições de contorno.....	35
2.1.4.1	Parâmetros gerais.....	35
2.1.4.2	Radiação.....	36
2.1.4.3	Propriedades dos materiais.....	36
2.1.4.3.1	<i>Propriedades do concreto e cerâmico.....</i>	36
2.1.4.3.2	<i>Propriedades da caixa de ar.....</i>	37
2.2	SEGUNDA ETAPA.....	37
2.2.1	Escolha do modelo residencial.....	37
2.2.2	Criação de geometria.....	38
2.2.3	Geração da malha.....	39
2.2.4	Definição das condições de contorno.....	40
2.2.4.1	Parâmetros gerais.....	41
2.2.4.2	Radiação.....	41
2.2.4.3	Propriedades dos materiais.....	42
2.2.4.3.1	<i>Propriedades do concreto e cerâmica.....</i>	42
2.2.4.3.2	<i>Propriedades do ar.....</i>	42
3	RESULTADOS	44
3.1	RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA	44

3.1.1	Blocos de cerâmica.....	44
3.1.2	Blocos de concreto.....	51
3.1.3	Validação das simulações.....	58
3.2	RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA	59
3.2.1	Alvenaria de cerâmica.....	59
3.2.2	Alvenaria de concreto	66
3.2.3	Discursão etapa 2.....	73
4	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	75
	ANEXO A – CARACTERÍSTICAS GEOMETRICAS DO PROTÓTIPO	77
	ANEXO B – TEMPERATUAS INICIAIS	77
	ANEXO C – RESULTADOS DO TRABALHO EXPERIMENTAL	77
	ANEXO D – TABELA DE PREVISÃO DE TEMPERATURA PARA O MÊS DE OUTUBRO DE 2019 E IMAGEM DO SITE DO INMET	78
	ANEXO E – TRECHO DA NORMA NBR 16401-1 (2008)	79
	ANEXO F – TABELA DE COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	79

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a busca por conforto térmico tem ganhado cada vez mais destaque por ser o principal objetivo de um sistema de climatização ou refrigeração de um ambiente. Quando bem projetada é responsável por garantir um bem-estar a seus ocupantes.

Segundo a norma ASHRAE Standard 55 (norma 55 da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) conforto térmico é definido como a “condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico e é avaliada por análise subjetiva”. O estado de conforto térmico ou desconforto pode ser avaliado a partir das sensações diretas de temperatura e umidade da pele, temperaturas profundas do corpo e os esforços para regular a temperatura corporal, e se torna difícil trazer esse conforto a todas as pessoas do ambiente devido ao fato de seus metabolismos funcionarem de forma diferente, ou seja, o que pode ser confortável para uma pessoa, pode não ser para outra.

O conceito de conforto térmico definido pela NBR 16401-2 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2017) é o “estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico e a temperatura do corpo como um todo”. A mesma norma define que seis variáveis (duas variáveis relativas aos ocupantes e quatro ao ambiente térmico) devem ser consideradas na definição de conforto térmico, são elas:

- Temperatura do ar;
- Temperatura radiante média;
- Umidade do ar;
- Velocidade do ar;
- Taxa metabólica de cada pessoa;
- Isolamento da vestimenta.

A manutenção da temperatura interna do organismo humano é relativamente constante, em ambientes cujas condições termo higrométricas são as mais variadas e variáveis, se faz por intermédio de seu aparelho termorregulador, que comanda a redução dos ganhos ou o aumento das perdas de calor através de alguns mecanismos de controle. A termorregulação, apesar de ser o meio natural de

controle de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra e, por conseguinte, uma queda de potencialidade de trabalho. O organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade (Frota e Schiffer).

O conforto térmico é importante em qualquer que seja o ambiente, um ambiente de trabalho, por exemplo, é demonstrado na tabela 1 um estudo realizado pela REHVA Scientific, no qual é apresentado que o desempenho humano é melhor em um ambiente termicamente confortável, proporciona também um local saudável aos ocupantes, além disso, é importante na eficiência energética, pois conhecendo os parâmetros do ambiente pode se evitar desperdícios desnecessários de aquecimento ou refrigeração em excesso.

Tabela 1 – Conforto Térmico x Performance

Diferença de temperatura em °C	Porcentagem de pessoas desconfortáveis	Índice Wyon de perda de produtividade ao pensar	É como se estivessem trabalhando no ambiente...
-1 °C	6,3 %	0 %	10 pessoas
0 °C	5,0 %	1,9 %	9,5 pessoas
+1 °C	6,0 %	5,4 %	8,7 pessoas
+2 °C	9,0 %	10,1 %	7,7 pessoas
+3 °C	14,0 %	15,3 %	7 pessoas
+4 °C	21,0 %	20,6 %	6,7 pessoas
+5 °C	29,0 %	25,7 %	6,6 pessoas
+6 °C	38,0 %	30,0 %	6,5 pessoas

Fonte: REHVA Scientific (2018).

A partir dos resultados do estudo da tabela acima, pode-se concluir que a má condição de conforto térmico ocasiona um alto desconforto aliado a uma alta perda de produtividade dos funcionários em um ambiente de trabalho, e consequentemente resulta em uma perda econômica para as empresas. Além disso, em algumas circunstâncias, a exposição ao frio ou calor excessivo pode afetar a saúde humana. Em situações de exposição ao frio em excesso, pode ocorrer tremores que dificultam o movimento dos dedos e até problemas respiratórios, e em situações de exposição ao calor em excesso, pode ocasionar sintomas como irritação, falta de disposição e sudorese.

Durante a construção de ambientes, tanto residenciais quanto comerciais, a escolha dos materiais de alvenaria para paredes, pavimentos e cobertura deve ser avaliada quanto a sua capacidade de reduzir as trocas de calor entre ambientes, podendo variar conforme a necessidade do edifício e seus ocupantes. Quando o material é bem escolhido, essa redução de troca de calor facilita a chegada ao estado de conforto térmico. Segundo Thomaz e Ishioka (2017), o isolamento térmico não remete apenas ao conforto térmico, mas também atua na redução do consumo de energia, impermeabilidade das paredes e reduz pontes térmicas.

Isolamento térmico é a capacidade que determinado material tem de reduzir a troca de calor entre um ambiente e outro. É usado em qualquer região, seja uma região fria ou uma região quente, e quando o material é bem instalado garante a eficiência energética e melhora o conforto térmico do ambiente. Em regiões quentes por exemplo, o isolamento mantém o calor externo ao ambiente e até reduz a necessidade de ar condicionado. Em regiões frias, o isolamento mantém o ambiente confortável e até reduz a necessidade do uso de aquecedor.

Nesse trabalho são avaliados dois tipos de materiais bastante utilizados nas paredes de alvenaria, blocos cerâmicos e blocos de concreto, com o objetivo de determinar qual material melhor se adequa às exigências do projeto tanto economicamente quanto em relação ao conforto térmico que cada material trará ao ambiente. A tabela 2 traz um comparativo entre blocos de concreto e blocos cerâmicos.

Tabela 2 – Comparativa entre bloco de concreto e bloco cerâmico

CARACTERÍSTICAS	BLOCO DE CONCRETO	BLOCO CERÂMICO
Utilização de revestimentos	Menor	Maior
Custo da estrutura (Peso)	Maior	Menor
Perda Adotada (%)	3 %	5 %
Pedreiro/servente horas por m²	0,70 horas por m²	0,70 horas por m²
Resistência à carga	Maior	Menor

Capacidade térmico-acústica	Menor	Maior
Absorção de água	Maior	Menor
Variedade de modelos	Grande	Grande
Dificuldade no manuseio	Grande	Fácil

Fonte: Lemos e Dall'agnol (2011).

Para realizar a comparação entre os materiais foi utilizado o software ANSYS® *Fluent*, que é um poderoso software de dinâmica de fluidos computacionais (CFD), será utilizado durante uma série de simulações térmicas a partir de uma malha definida durante o trabalho.

Nesse contexto serão realizadas essas simulações térmicas com o intuito de validar os resultados de um trabalho experimental previamente definido, onde serão comparados os dois tipos de materiais, e com o auxílio do software ANSYS®, validar simulações térmicas de cada material de alvenaria. Em seguida, após a validação da simulação, será utilizada a mesma metodologia para realizar uma nova simulação térmica de um modelo residencial de dois quartos, dois banheiros e uma sala com cozinha integrada, porém, alterando as condições de contorno e adaptando para condições encontradas na cidade de Teresina, no estado do Piauí, e determinar qual dos dois tipos de materiais trará o melhor conforto térmico ao ambiente.

1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho é validar simulações térmicas de diferentes tipos de isolamento térmico com base em dados fornecidos por um trabalho experimental. E posteriormente realizar uma simulação térmica de um ambiente residencial, com o intuito de determinar qual material isolante proporcionará a melhor condição de isolamento para o ambiente.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre conforto térmico;
- Escolha do trabalho experimental a ser usado como base;
- Definir os parâmetros necessários para simulação;
- Validar os resultados do trabalho experimental a partir do software ANSYS;
- Definir o modelo da residência a ser simulada utilizando os novos parâmetros na região que o modelo se encontra;
- Simular o modelo utilizando a mesma metodologia aplicada anteriormente.

1.2 JUSTIFICATIVA

O conforto térmico é importante em todos os tipos de ambientes, seja em casa, seja no trabalho, ou em um restaurante, o ser humano apresenta um melhor rendimento do seu desempenho e produtividade em locais que proporcionem um ambiente agradável, além disso, melhora a eficiência energética e diminui gastos desnecessários e impactos ambientais. O uso do software se valida devido a velocidade e eficiência que o estudo pode ser feito, e também pelo baixo custo operacional.

Este trabalho proporcionará a validação de uma metodologia para simulação térmica de vários ambientes, possibilitando a escolha do material de alvenaria vertical da forma mais adequada a necessidade do ambiente e seus ocupantes.

1.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse tópico serão abordados fundamentos e conceitos para o entendimento e execução do trabalho, tais como conforto térmico, formas de transferência de calor, isolamento térmico, carga térmica e propriedades dos materiais, que serão simulados ao longo desse estudo.

1.3.1 CONFORTO TÉRMICO

Conforto térmico é uma sensação humana fortemente relacionada à subjetividade, e depende, principalmente, de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos são aqueles que determinam as trocas de calor do corpo com o meio; já os fatores fisiológicos referem-se às alterações na resposta fisiológica do organismo, resultantes da exposição contínua a determinada condição térmica (aclimação humana); e finalmente, os fatores psicológicos, que são os que se relacionam às diferenças na percepção e na resposta aos estímulos sensoriais, frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo (Lamberts, 2016).

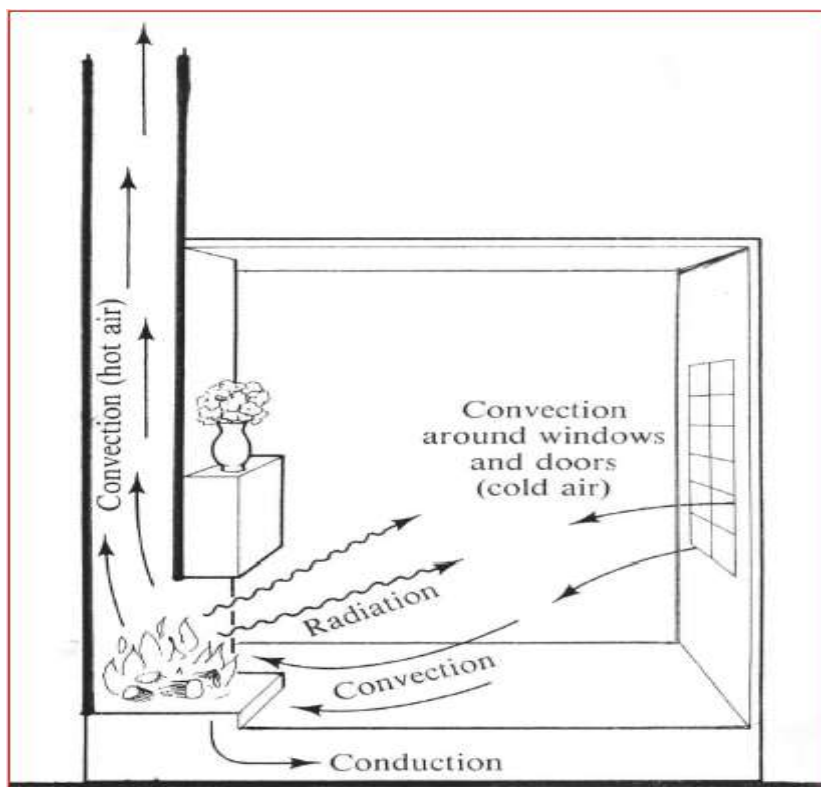
Quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho, desse ponto de vista, é máxima (Frota e Schiffer, 2001).

O conforto térmico é influenciado por inúmeros fatores, porém nesse trabalho, será focado principalmente nas variáveis ambientais como temperatura do ar e temperatura radiante.

1.3.2 FORMAS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Transferência de calor é a forma de energia em trânsito que ocorre quando dois meios têm diferentes temperaturas, onde essa energia passa da fonte com maior temperatura para a fonte com menor temperatura. As principais formas de transferência de calor são: condução, convecção e radiação que podem ser observadas na figura 1.

Figura 1 – Formas de transferência de calor



Fonte: Donoso (2005).

Segundo o guia do usuário do ANSYS (2009), o fluxo de energia térmica da matéria que ocupa uma região no espaço para a matéria que ocupa uma região diferente no espaço é conhecido como transferência de calor. Dependendo do problema, o ANSYS *Fluent* resolverá uma variação da equação de energia que leva em consideração os métodos de transferência de calor que você especificou. O ANSYS *Fluent* também é capaz de prever a transferência de calor em geometrias de repetição periódica reduzindo bastante o esforço computacional necessário em certos casos.

Segundo Çengel (2003), a transferência de energia como calor nos 3 tipos de transferência ocorre sempre do meio de temperatura mais alta para o de temperatura mais baixa, e a transferência de calor para quando os dois meios atingem a mesma temperatura.

O ANSYS *Fluent* permite incluir a transferência de calor nas regiões com fluidos e/ou sólidos dependendo do seu modelo. Problemas que variam desde a mistura térmica dentro de um fluido até a condução em sólidos compostos podem, portanto, ser tratados pelo ANSYS *Fluent*. Quando o modelo ANSYS *Fluent* incluir transferência de calor, será necessário ativar os modelos físicos relevantes, e fornecer condições de contorno e propriedades do material de entrada que governam a transferência de calor e/ou variam com a temperatura como parte da configuração.

Para a realização da simulação, é necessário que o modelo de energia esteja ativado, e a partir disso o ANSYS *Fluent* resolve pela equação (2) de energia:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E + \rho) + \nabla * (v(\rho E + \rho)) = \nabla * (k_{eff} * \nabla * T - \sum_j H_j * J_j + (T_{eff} * v) + S_h \quad (2)$$

Onde E é a taxa de transferência de energia por condução, k_{eff} é a condutibilidade efetiva, H é a entalpia, J_j é o fluxo de difusão, S_h são as fontes de calor, T é a temperatura e h é o coeficiente de transferência de calor por convecção.

1.3.2.1 CONDUÇÃO

Segundo Moreira (2014), para gases e líquidos, a transferência de calor dominante ocorre da maior temperatura para a mais baixa pelo choque de partículas mais energéticas para as menos energéticas. Quanto aos sólidos, a energia é transferida por vibração da rede e também por elétrons livres. E ainda afirma que isolantes elétricos são também isolantes térmicos.

Segundo Çengel (2003), condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para as adjacentes menos energéticas, como resultado das interações entre as partículas. A condução pode ocorrer em sólidos, líquidos ou gases. Nos gases e líquidos, a condução é devida às colisões e difusão das moléculas durante seu movimento aleatório. Nos sólidos, isso se deve à combinação de vibrações das moléculas em uma rede e ao transporte de energia por elétrons livres.

Uma grandeza física importante da transferência de calor é o calor sensível, que é responsável por provocar a variação de temperatura de um corpo.

A condução de calor é regida pela lei de Fourier e pode ser calculada pela equação (3).

$$q_x = -k * A * \left(\frac{dT}{dx} \right) \quad (3)$$

Onde k é a condutibilidade térmica, A é a área perpendicular ao fluxo de calor e T a temperatura.

1.3.2.2 CONVECÇÃO

A convecção ocorre quando dois meios estão em contato e pelo menos um deles é um fluido. A passagem de calor acontece de uma zona a outra devido a diferença de pressão, temperatura e consequentemente alteração da densidade. Primeiramente acontece a transferência de calor por condução e logo em seguida, após a alteração da temperatura, o fluido modifica a densidade provocando a convecção.

De acordo com o guia do usuário do ANSYS (2019), quando o calor é adicionado a um fluido e a densidade do fluido varia com a temperatura, um fluxo pode ser induzido devido à força da gravidade que atua nas variações de densidade. Tais fluxos acionados por flutuabilidade são denominados fluxos de convecção natural (ou convecção mista) e podem ser modelados pelo ANSYS *Fluent*.

A convecção é regida pela lei de resfriamento de Newton e pode ser calculada pela equação (4).

$$q = h * A(T_s - T_\infty) \quad (4)$$

Onde h é o coeficiente de transferência de calor por convecção, A é a área de troca de calor q_x e T_s a temperatura da superfície e T_∞ a temperatura do fluido ao longe.

1.3.2.3 RADIAÇÃO

Na radiação térmica a transferência de energia acontece por ondas eletromagnéticas e por meio de raios infravermelhos, ou seja, é a forma como o calor se propaga no vazio. Não necessita de um meio físico para se propagar e é dessa forma que o calor do sol se propaga até a terra, através de ondas eletromagnéticas que viajam à velocidade da luz.

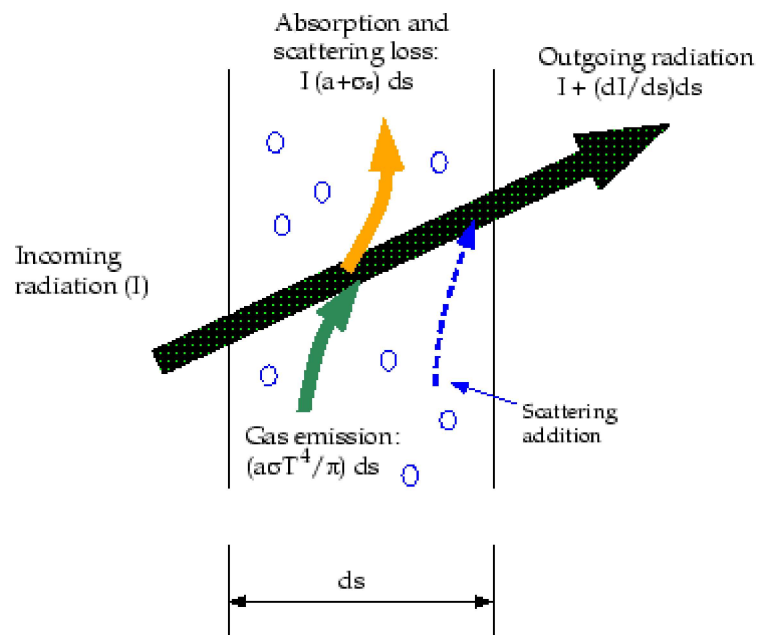
De acordo com o guia do usuário do ANSYS (2019), a equação (5) representa a transferência radioativa.

$$d * \frac{I(\vec{r}, \vec{s})}{ds} + (a + \sigma_s) * I(\vec{r}, \vec{s}) = a * n^2 * \sigma * \frac{T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4 * \pi} * \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}) * \Phi(\vec{s} * \vec{s}') d\Omega \quad (5)$$

Onde I é a intensidade de radiação, σ é a constante de Stefan-Boltzmann, σ_s é o coeficiente de dispersão, n é o índice de refração, a é o coeficiente de absorção, Ω é o ângulo do sólido e Φ é a função da fase.

A figura 2 ilustra o processo de transferência de calor por radiação.

Figura 2 – Transferência de calor por radiação



Fonte: Guia do usuário ANSYS (2019).

1.3.3 ISOLAMENTO TÉRMICO E PRINCIPAIS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

Isolamento térmico é a capacidade que um material tem de reduzir as trocas de calor entre ambientes. Para as construções desses ambientes sempre deve ser planejado qual material isolante será colocado nas paredes, lajes e telhados, pois quando bem instalado, garante um ganho em relação a eficiência energética e até a diminuição de custo com máquinas de climatização e refrigeração mantendo o conforto térmico do local.

Segundo Oliveira, o planejamento do isolamento térmico a ser utilizado constitui uma etapa importante na construção, visto que ela atende a três funções: conforto, economia de energia e estabilidade da estrutura, consequentemente ocorre o aumento da vida útil dos componentes da edificação.

1.3.3.1 CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

A condutibilidade térmica quantifica a habilidade que um material tem de conduzir energia térmica. Quanto maior for valor da condutibilidade térmica, mais rápida será conduzida a energia, enquanto os materiais de menor valor de condutibilidade tendem a conduzir a energia de forma mais lenta e assim promovem o isolamento térmico. Então, para o objetivo desse estudo iremos trabalhar com dois materiais, concreto e cerâmica, devido ao fato de serem bons isolantes térmicos e bastante utilizados em paredes verticais em construções. A tabela 3 contém os valores da condutibilidade térmica no concreto e na cerâmica.

Tabela 3 – Condutibilidade Térmica

Material Base	Condutibilidade Térmica ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)
Cerâmica	0,90
Concreto	1,75

Fonte: Morishita (2010).

1.3.3.2 TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

A transmitância térmica ou coeficiente global de transferência de calor (U) é a taxa de transferência de calor através da matéria. Materiais com baixos valores de transmitância térmica geralmente estabelecem uma melhor isolamento térmica. Os valores de transmitância variam de acordo com o material e tamanho do bloco a ser utilizado. Para a realização da simulação, os valores de transmitância térmica do bloco cerâmico e do bloco de concreto são apresentados na tabela 4 e podem ser consultados no anexo F.

Tabela 4 – Transmitância Térmica

BLOCO (Espessura do bloco)	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (U) (W/m ² *k)
Concreto (15 cm)	2,36389
Cerâmica (15 cm)	3,15801

Fonte: Inmetro (2013).

1.3.3.3 RESISTÊNCIA TÉRMICA

Resistência térmica é a propriedade que qualifica o quanto determinado material é eficaz na redução de troca de calor, ou seja, quanto maior a resistência térmica, melhor será o isolamento proporcionado por este material. De acordo com Çengel (2003), considerando que a condução seja unidimensional em uma parede plana, podemos calcular o valor da resistência térmica a partir da equação (6).

$$R_c = \frac{L}{k * A} \quad (6)$$

Onde R_c é a resistência térmica a condução, L é a espessura da parede, k é a condutibilidade térmica e A é a área de troca de calor.

Para as trocas de calor envolvendo convecção e radiação, as seguintes equações (7) e (8) podem obter os valores de resistência térmica para convecção e radiação.

$$R_{convec} = \frac{1}{h_{convec} * A} \quad (7)$$

$$R_{rad} = \frac{L}{h_{rad} * A} \quad (8)$$

Onde R_{convec} é a resistência térmica a convecção, R_{rad} é a resistência térmica a radiação, h_{convec} é o coeficiente de transferência de calor por convecção e h_{rad} é o coeficiente de transferência de calor por radiação.

De acordo com Çengel (2003), podemos ter a resistência térmica em série ou paralelo, e a partir das seguintes equações (9) e (10) podemos determinar o valor da resistência térmica equivalente para as paredes.

$$R = R_1 + \dots + R_n \quad (9)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (10)$$

1.3.4 CARGA TÉRMICA

A carga térmica é a quantidade de calor que deve ser retirada ou adicionada a um ambiente para promover condições de conforto térmico desejado a seus ocupantes. Inúmeros fatores influenciam o cálculo da carga térmica, como o número de ocupantes do local, dimensões do ambiente, tipo de isolamento da parede, telhados, insolação, entre outros fatores. O cálculo de carga térmica pode ser realizado seguindo a norma NBR-16401 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

A influência do material na carga térmica ocorre com a variação do coeficiente global de transferência de calor que varia conforme as dimensões da parede e do material.

Segundo Franco, o ganho de calor sensível nas paredes internas pode ser calculado a partir da equação (11).

$$Q = U * A * (T_{ext} - T_{int} - 3^{\circ}C)$$

Onde U é o coeficiente global de transferência de calor, A é a área da parede, T_{ext} é a temperatura do ar exterior e T_{int} é a temperatura do recinto.

1.3.5 CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS CERÂMICOS E BLOCOS DE CONCRETO

Nessa seção será explanado as principais características dos dois tipos de materiais avaliados nesse trabalho, destacando suas principais qualidades e deficiências.

1.3.5.1 BLOCO CERÂMICO

Segundo a norma NBR 15270-1 da ABNT (2005), o bloco cerâmico de vedação é o componente da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces. A mesma norma também contém especificações da fabricação do bloco para que exista padrões de tamanho e qualidade.

A tabela 5 apresenta um quadro com as principais vantagens e desvantagens do bloco cerâmico.

Tabela 5 – Vantagens e desvantagens do bloco cerâmico

Vantagens	Desvantagens
Menor peso, comparado ao bloco de concreto	Vãos livres são limitados
Facilidade de treinamento para obter uma mão de obra qualificada	Impossibilita efetuar uma modificação na disposição arquitetônica original
Projetos mais fáceis de detalhar	
Maior rapidez e facilidade de construção	
Ótimas propriedades de isolamento térmica e acústica	
Redução da necessidade do uso de concreto e ferragem	
Melhor desempenho em situações de incêndio	

Fonte: Alvenaria de bloco cerâmico x bloco de concreto (2016).

1.3.5.2 BLOCO DE CONCRETO

A norma NBR 15961-1 da ABNT (2011), especifica os requisitos mínimos exigíveis para o projeto com blocos de concreto. A mesma norma também contém especificações de como o bloco deve ser fabricado para que existam padrões de tamanho e qualidade.

A tabela 6 apresenta um quadro com as principais vantagens e desvantagens do bloco cerâmico.

Tabela 6 – Vantagens e desvantagens do bloco de concreto

Vantagens	Desvantagens
Necessita de um tempo menor de assentamento e revestimento em relação ao bloco cerâmico	Não permite corte
Consome uma menor quantidade de argamassa	Dificuldade no encunhamento nas faces interiores das vigas e lajes
Apresenta um melhor acabamento e mais uniforme	
Pode ser utilizado em paredes externas e internas	
Resistência à umidade e movimentos térmicos	
Isolamento térmico e acústico	
Resistência à infiltração de água pluvial	

Fonte: Alvenaria de bloco cerâmico x bloco de concreto (2016).

1.3.6 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A dinâmica dos fluidos computacionais (CFD) é um ramo da mecânica dos fluidos que utiliza análise numérica e estruturas de dados para analisar e resolver problemas que envolvem fluxos de fluidos. Os computadores são usados para executar os cálculos necessários para simular o fluxo livre do fluido e a interação do fluido (líquidos e gases) com superfícies definidas pelas condições de contorno. O

CFD é aplicado a uma ampla gama de problemas de pesquisa e engenharia em muitos campos de estudo e indústrias, incluindo análise aerodinâmica e aeroespacial, engenharia ambiental, ciências naturais e simulação climática.

O CFD se faz necessário por ser uma ferramenta que contém uma alta precisão e um custo operacional relativamente baixo, além de possibilitar inúmeros tipos de simulações em diversos campos da engenharia, para Kuzmin (2010, p. 1),

“A dinâmica dos fluidos e os fenômenos de transporte, como a transferência de calor e massa, desempenham um papel de vital importância na vida humana. Gases e líquidos nos cercam, fluem para dentro de nossos corpos e exercem profunda influência sobre o ambiente em que vivemos. Os fluxos de fluidos produzem ventos, chuvas, inundações e furacões. Convecção e difusão são responsáveis por flutuações de temperatura e transporte de poluentes no ar, na água ou no solo. A capacidade de entender, prever e controlar os fenômenos de transporte é essencial para muitas aplicações industriais, como projeto de forma aerodinâmica, recuperação de óleo de um reservatório subterrâneo ou fluxos multifásicos / multicomponentes em fornos, trocadores de calor e reatores químicos. Essa capacidade oferece benefícios econômicos substanciais e contribui para o bem-estar humano. Aquecimento, ar condicionado e previsão do tempo tornaram-se parte integrante da nossa vida cotidiana.

Os códigos de CFD são estruturados em torno de algoritmos numéricos que resolvem os problemas com escoamentos de fluidos. De forma a proporcionar fácil acesso à ferramenta de solução, todos os pacotes comerciais de CFD's incluem interfaces sofisticadas para introduzir os parâmetros dos problemas e para examinar os resultados. Assim todos os códigos contêm três elementos principais: pré-processamento dos dados, solucionador dos dados e pós-processamento de dados. O pré-processamento de dados consiste na introdução dos parâmetros do problema no programa de CFD utilizando uma interface de fácil utilização e a transformação destes dados numa forma adequada para serem analisados pelo solucionador (SOUSA, 2011).

Nesse trabalho será utilizado o software ANSYS e a extensão *Fluent* para a realização da simulação térmica. Segundo a desenvolvedora do software ANSYS (2019), o software *fluent* contém amplos recursos de modelagem física necessários para modelar fluxo, turbulência, transferência de calor e reações, abrangendo uma ampla variedade de modelos especiais e com capacidade para modelar diversos tipos de sistemas.

A qualidade dos resultados da simulação depende da escolha do modelo e da precisão do método numérico. Apesar dos inevitáveis erros numéricos e de modelagem, soluções aproximadas podem fornecer muitas informações valiosas a

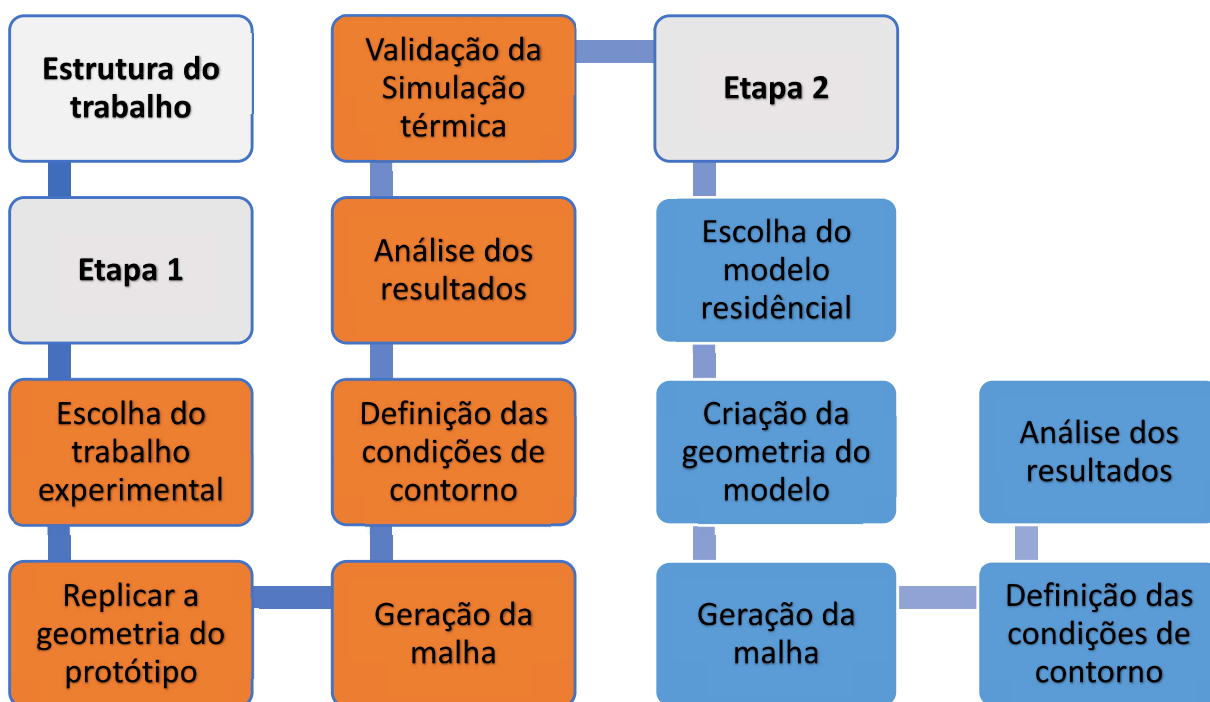
uma pequena fração do custo que uma investigação experimental em larga escala exigiria. No entanto, ainda são necessários experimentos para determinar os valores dos parâmetros de entrada para um modelo matemático e validar os resultados computacionais (KUZMIN, 2010). Com a escolha de um trabalho experimental já realizado, é possível selecionar as condições de contorno e partir desses dados, realizar uma simulação com uma maior precisão.

2 METODOLOGIA

O trabalho foi estruturado em duas etapas. Na primeira etapa foram realizadas simulações térmicas a partir de dados e condições de contorno obtidos de um trabalho experimental selecionado. Logo depois será realizado o comparativo de resultados da simulação e dos resultados apresentados no trabalho selecionado. A segunda etapa será feita após a validação do estudo e vai consistir na escolha de um modelo residencial, no qual ocorrerá uma nova simulação térmica com condições de contorno coerentes a região de Teresina no estado do Piauí, utilizando a mesma metodologia validada na etapa anterior.

O fluxograma abaixo detalha a sequência de procedimentos realizados durante a realização do trabalho.

Figura 3 – Fluxograma de atividades



Fonte: Própria (2020).

2.1 PRIMEIRA ETAPA

2.1.1 ESCOLHA DO TRABALHO EXPERIMENTAL E CONSIDERAÇÕES GERAIS

O trabalho experimental selecionado necessita abordar uma avaliação térmica de dois tipos de alvenaria estudados nesse trabalho e, portanto, o que melhor se encaixou nas características necessárias para a simulação térmica foi o trabalho de conclusão de curso da autora Ana Cristina Fiegenbaum, com o título: *“Análise comparativa de isolamento térmico entre painéis pré-moldados, alvenaria de vedação de blocos de concreto e blocos cerâmicos para fins de conforto térmico”*, devido ao fato deste trabalho avaliar o comportamento vertical dos isolantes térmicos e com dados suficientes para a realização da simulação térmica.

Nos anexos A, B e C estão todos os dados do trabalho experimental, características geométricas do protótipo, condições de contorno e os resultados, necessários para a realização da simulação térmica.

O trabalho foi estruturado em oito simulações. Cada um dos dois tipos de blocos foi submetido a quatro simulações em diferentes horários do dia. A geometria do protótipo e a malha foram as mesmas para todas as simulações.

Foram adaptadas para cada horário e tipo de material as condições de contorno, temperatura, horário da simulação e as propriedades do ar.

Dentro do software determinou-se que as propriedades do ar, viscosidade dinâmica, condutibilidade térmica e calor específico, iriam variar em função temperatura ao longo da geometria. Os valores da propriedade de emissividade foram definidos no valor de 0.85 para o concreto e 0.93 para a cerâmica, esses valores foram obtidos de Bergman et al. (2011). O coeficiente global de transferência de calor está no anexo F para os blocos de concreto e cerâmica com argamassa de ambos os lados de espessura com 15 centímetros.

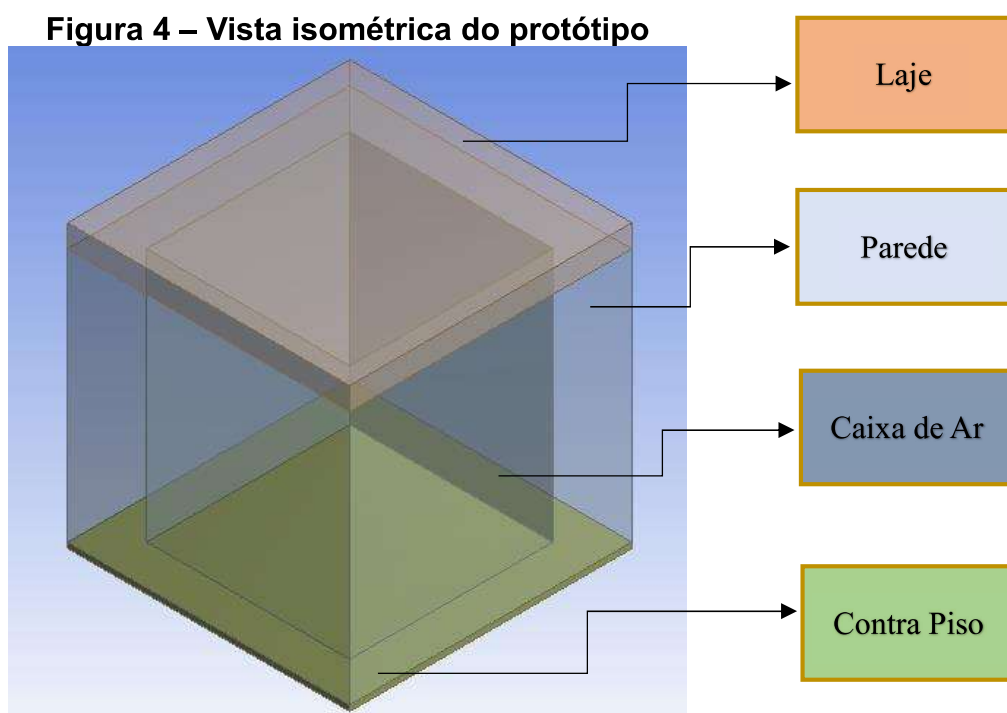
Para a realização dos cálculos, o número de interações adotado foi de 100 interações.

Foram considerados que os blocos tanto de concreto quanto de cerâmica eram maciços.

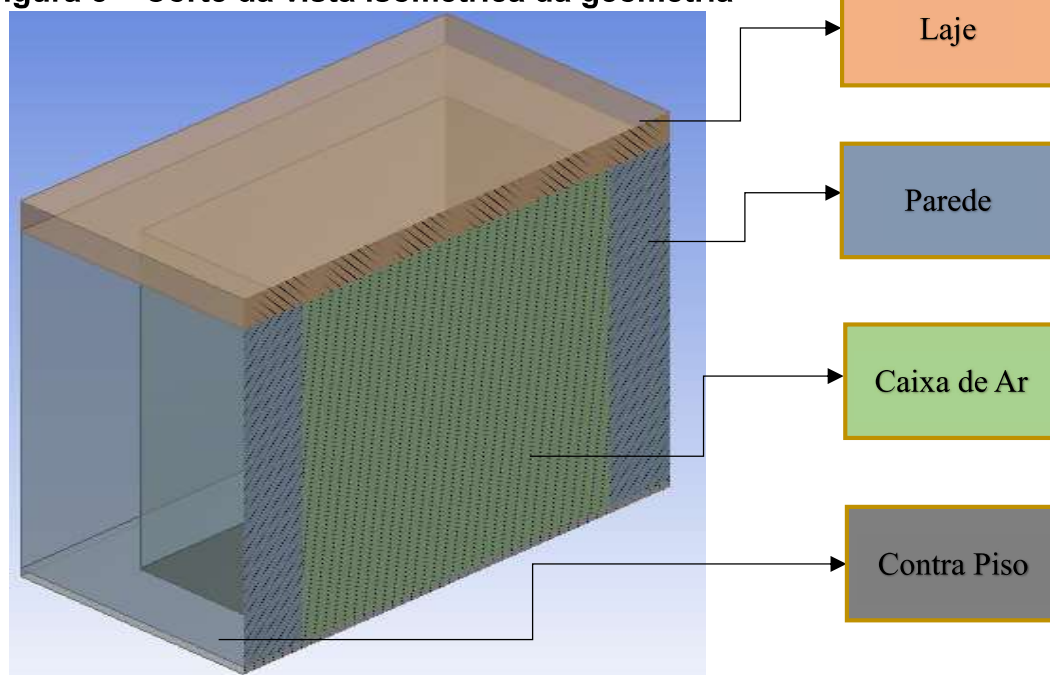
2.1.2 MODELAGEM DA GEOMETRIA

A geometria do protótipo é idêntica tanto para o bloco cerâmico quanto para o bloco de concreto e suas dimensões se encontram especificadas no anexo A. Para realizar a modelagem da geometria foi utilizado a ferramenta *DesignModeler* do software ANSYS.

O protótipo foi dividido em 4 partes. A primeira parte é a laje, a segunda parte é o contra piso, a terceira parte é a parede que será construída por um dos dois materiais avaliados nesse trabalho (concreto e cerâmica) e foi considerado que toda a extensão da parede é totalmente composta por um desses dois materiais, e com a espessura de 15 cm. Na quarta parte, para que a simulação possa ser realizada, é necessário que a região interna a parede contenha ar e ele deve ser modelado como um fluido. As figuras 4 e 5, demonstram a geometria do protótipo em vista isométrica e um corte da respectiva vista.



Fonte: Própria (2020).

Figura 5 – Corte da vista isométrica da geometria

Fonte: Própria (2020).

2.1.3 GERAÇÃO DA MALHA

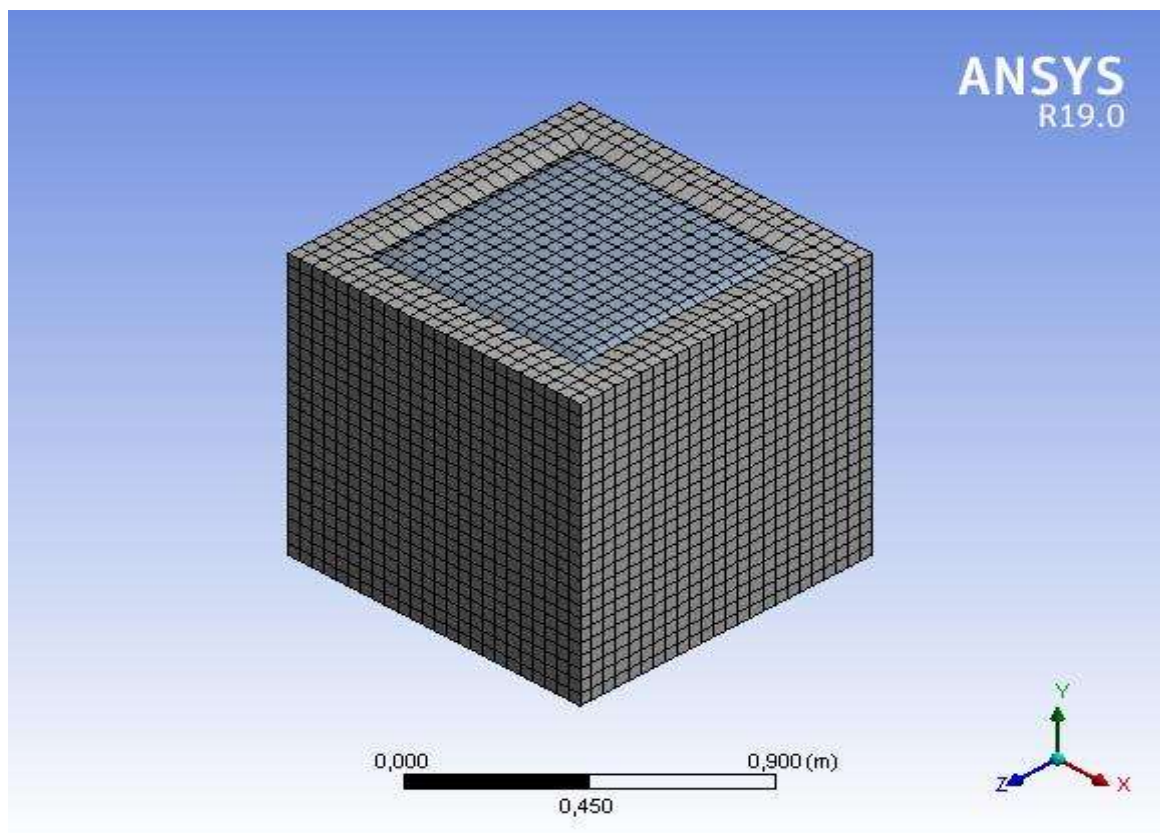
Para que a simulação possa ser realizada, é necessário definir uma malha com configurações que melhor atenda a necessidade do projeto. Para tal fim, foi utilizada a ferramenta *Meshing* do ANSYS e o tamanho máximo da face dos elementos na malha foi definido para 0,04m com o intuito de reduzir as deformidades geométricas e reduzir divergência entre os resultados da simulação e os resultados do trabalho experimental. A tabela 7 contém os parâmetros utilizados na configuração da malha. A figura 6 representa o protótipo após a geração da malha. A laje foi suprimida para uma melhor visualização da interface entre a parede e caixa de ar.

Tabela 7 – Parâmetros da configuração da malha do protótipo

Size Function	Curvature
Max Tex Size	0,0433m
Method	CutCell
Número de nós	15625
Número de elementos	13824

Fonte: Própria (2020).

Figura 6 – Protótipo pós geração da malha



Fonte: Própria (2020).

2.1.4 DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO

Para a simulação dos protótipos é necessário definir as condições de contorno dentro da ferramenta *Fluent* do ANSYS, conforme o material da parede, concreto ou cerâmica.

2.1.4.1 PARÂMETROS GERAIS

A gravidade adotada para o eixo Y foi de $9,81 \text{ m/s}^2$ e o modelo de energia foi ativado para que a simulação pudesse ocorrer sem falhas. Foi estabelecido que a temperatura externa do ambiente do trabalho experimental seria a temperatura inicial para cada simulação e essa temperatura pode ser consultada no anexo B, no qual contém as temperaturas do trabalho experimental para cada horário em que os protótipos foram testados.

2.1.4.2 RADIAÇÃO

O ANSYS dispõe de diversos modelos de radiação, e para esse trabalho foi escolhido o modelo *Solar Ray Tracing*, no qual dispõe de um sistema que inclui uma calculadora solar que conhecendo a latitude e longitude do local pode estabelecer a localização do sol no céu em determinado horário do dia, data e posição do sol. As coordenadas utilizadas nessa primeira etapa do trabalho foram as do município de Estrela – Rio Grande do Sul, onde foram realizados os estudos do trabalho experimental. A figura 7 contém as coordenadas utilizadas na primeira etapa do trabalho.

Figura 7 – Configurações do *Solar Ray Tracing*

Global Position	
Longitude (deg)	-29.44364
Latitude (deg)	-51.87362
Timezone (+-GMT)	-3

Date and Time	
Day of Year	
Day	30
Month	1
Time of Day	
Hour	9
Minute	0

Mesh Orientation	
North	
X	0
Y	1
Z	0
East	
X	1
Y	0
Z	0

Solar Irradiation Method	
☐	Theoretical Maximum
☒	Fair Weather Conditions

Options	
Sunshine Factor	0.9

Buttons: Apply, Close, Help

Fonte: Própria (2020).

2.1.4.3 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Dentro do *Fluent* é necessário determinar as propriedades dos materiais (Concreto, cerâmica e caixa de ar) para que a simulação seja realizada.

2.1.4.3.1 PROPRIEDADES DO BLOCO DE CONCRETO E BLOCO CERÂMICO

As propriedades do concreto e cerâmica foram consideradas constantes ao

longo da geometria das paredes verticais. A tabela 8 contém as propriedades utilizadas no trabalho.

Tabela 8 – Propriedades do concreto e cerâmica

Material	Densidade	Condutibilidade térmica	Calor específico	Emissividade	Coeficiente global de transferência de calor
Cerâmica	1600 kg/m ³	0,90 W/m*K	920 J/kg*K	0,85	2,36389
Concreto	2400 kg/m ³	1,75 W/m*K	1000 J/kg*K	0,93	3,15801

Fonte: Morishita (2010)

2.1.4.3.2 PROPRIEDADES DA CAIXA DE AR

As propriedades do ar podem ser encontradas realizando uma interpolação conforme a temperatura do ambiente muda ao longo do trabalho, e dentro do software foi estabelecida uma equação para cada propriedade, na qual varia em função da temperatura. A tabela 9 contém os valores das propriedades que devem ser modificadas no software para a realização da simulação.

Tabela 9 – Propriedades do ar

Temperatura	Viscosidade Dinâmicas	Condutibilidade térmica	Calor específico
250 K	159,6 E-7 N*s/m ²	22,3 E-3 W/m*K	1006 J/kg*K
300 K	184,6 E-7 N*s/m ²	26,3 E-3 W/m*K	1007 J/kg*K
350 K	208,2 E-7 N*s/m ²	30,0 E-3 W/m*K	1008 J/kg*K

Fonte: Bergman (2011).

2.2 SEGUNDA ETAPA

2.2.1 ESCOLHA DO MODELO RESIDENCIAL

Foi desenvolvido um modelo residencial fictício, porém, com condições de

contorno e propriedades adaptadas para a cidade de Teresina no Piauí. O modelo será idêntico tanto para a simulação com blocos de concreto quando com blocos de cerâmica.

A etapa foi estruturada em oito simulações. Cada tipo de bloco foi submetido a quatro simulações em diferentes horários do dia. A geometria da residência e a malha foram as mesmas para todas as simulações.

As condições de contorno, temperatura, horário da simulação no *Solar Ray Tracing* e propriedades do ar, foram adaptadas para cada horário e tipo de material.

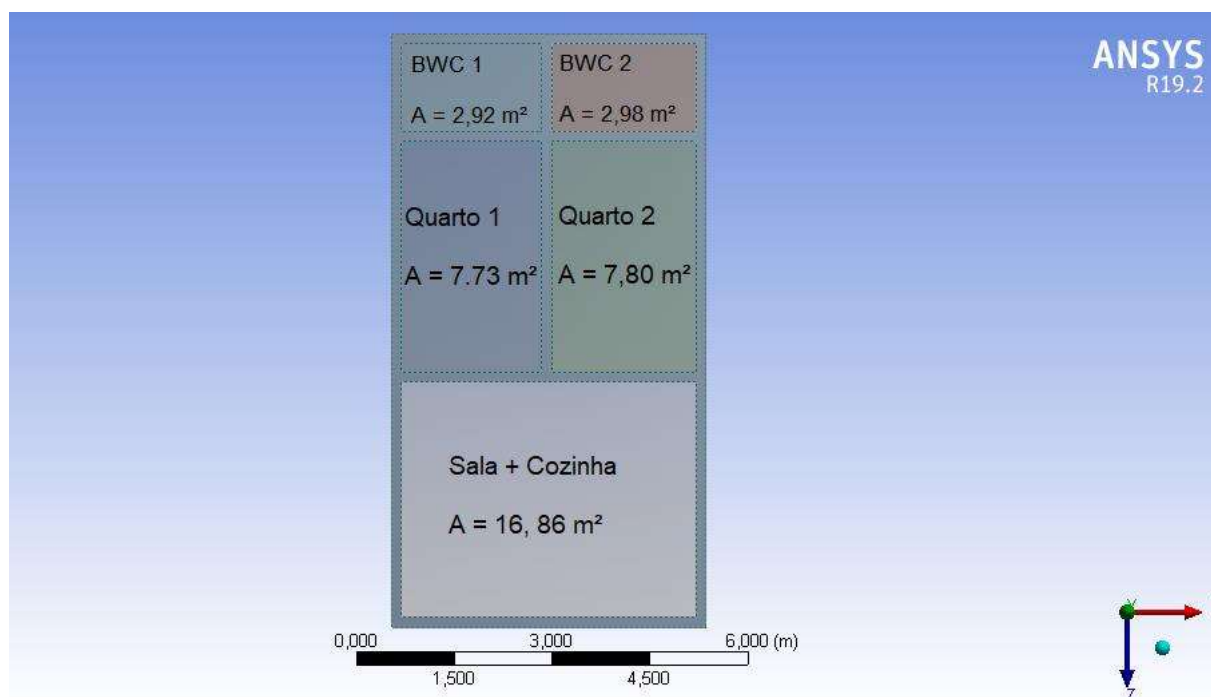
Para a realização dos cálculos, o número máximo de interações adotado foi de cem interações.

2.2.2 CRIAÇÃO DA GEOMETRIA

Para realizar a modelagem da geometria foi utilizado a ferramenta *DesignModeler* do software ANSYS.

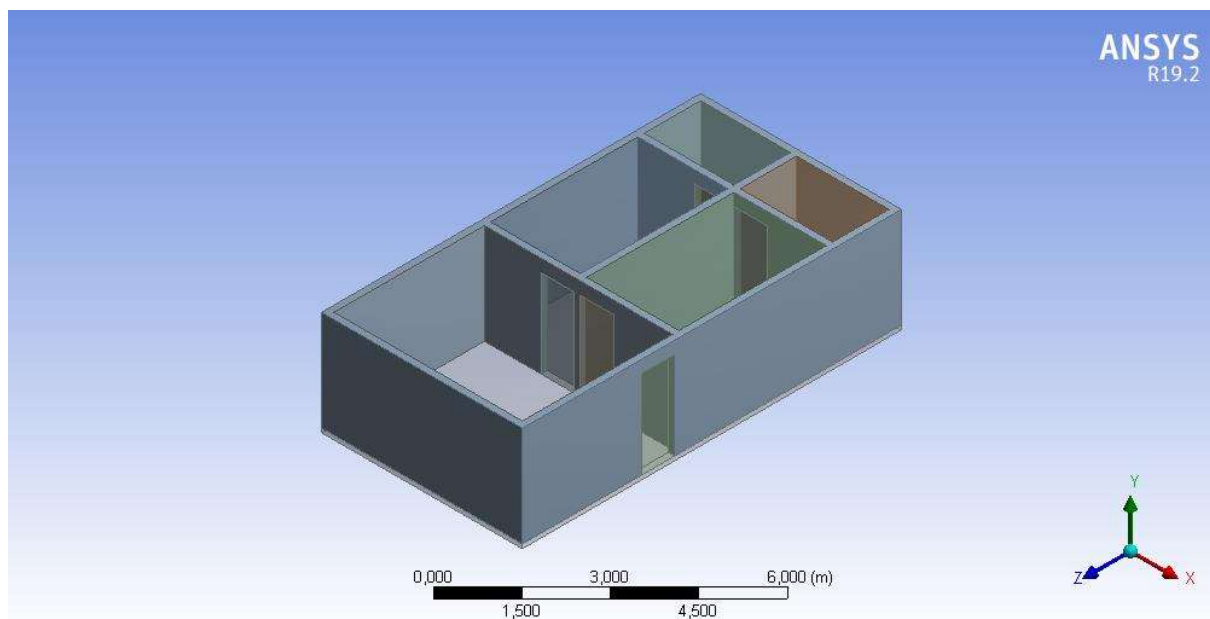
O modelo tem uma área de 38,29m² e foi dividido em dois quartos, dois banheiros e uma sala com cozinha integrada. A espessura dos blocos foi definida para 15 cm. As figuras 8 e 9, demonstram a geometria do protótipo na vista superior e na vista isométrica respectivamente.

Figura 8 – Vista superior do modelo residencial



Fonte: Própria (2020).

Figura 9 – Vista isométrica do modelo residencial



Fonte: Própria (2020).

2.2.3 GERAÇÃO DA MALHA

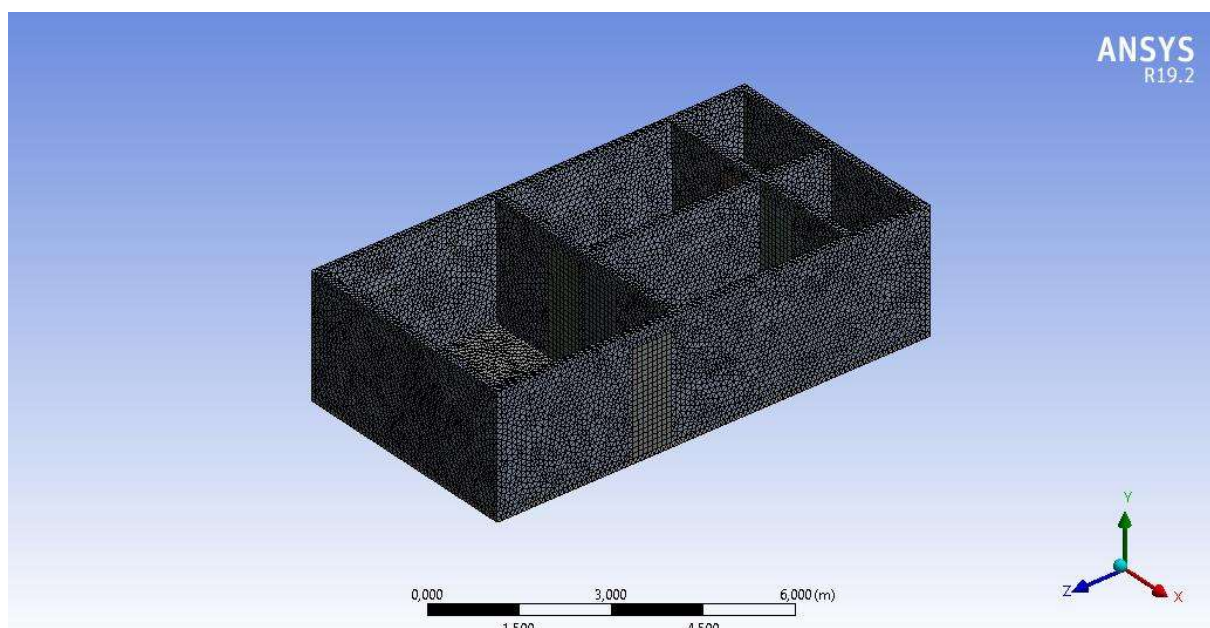
A malha é definida com configurações que melhor atendeu a necessidade do projeto. Para tal fim, foi utilizado a ferramenta *Meshing* do ANSYS e o tamanho máximo da face dos elementos na malha foi limitado para 0,10 m com o intuito de reduzir deformidade geométricas e reduzir divergência entre os resultados da simulação. A tabela 10 contém os parâmetros utilizados na configuração da malha. A figura 10 representa o protótipo após a geração da malha na vista isométrica.

Tabela 10 – Parâmetros da configuração da malha do modelo residencial

Element Size	0,10 m
Method	Hex Dominant
Número de nós	154989
Número de elementos	133073

Fonte: Própria (2020).

Figura 10 – Vista isométrica do modelo pós geração de malha

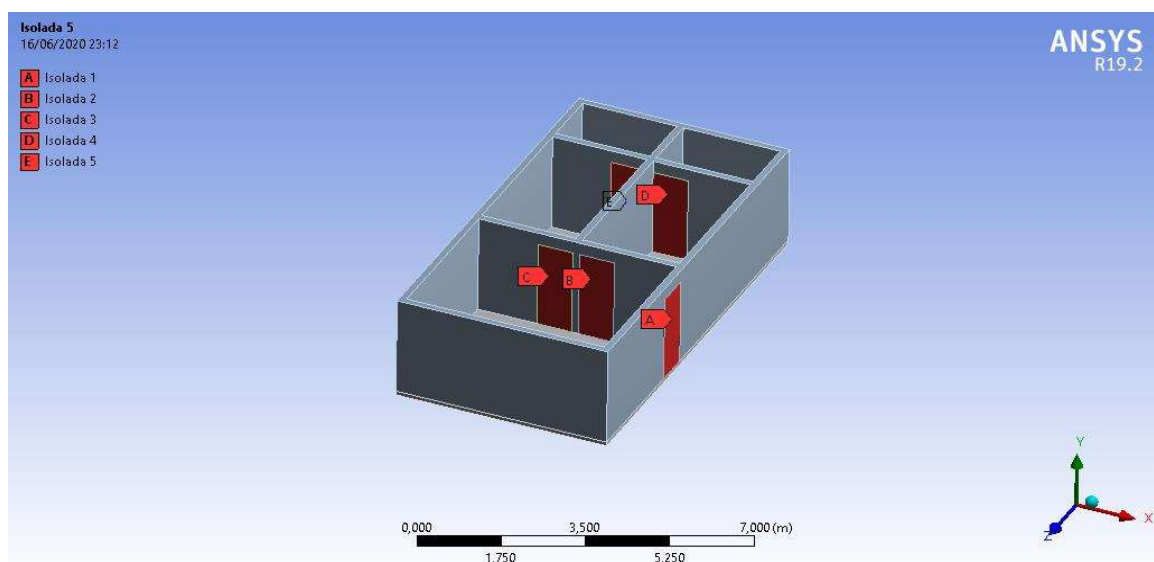


Fonte: Própria (2020).

2.2.4 DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO

Para a simulação do modelo é necessário definir as condições de contorno, as portas foram consideradas como faces isoladas e nas paredes verticais foram adotados que os materiais de concreto ou de cerâmica constituíam toda a extensão. A figura 11 contém as condições de contorno da geometria do protótipo. As superfícies em vermelho compõem as superfícies que não permitem as trocas de calor.

Figura 11 – Condições de contorno da geometria do modelo residencial



Fonte: Própria (2020).

2.2.4.1 PARÂMETROS GERAIS

A gravidade adotada para o eixo Y foi de $-9,81 \text{ m/s}^2$ e o modelo de energia foi ativado para que a simulação pudesse ocorrer sem falhas. A temperatura inicial para cada simulação foi estabelecida a partir de uma média realizada para o mês de outubro, escolhido devido a ser a pior condição para a cidade de Teresina, e para os dias 15, 16 e 17 de outubro de 2019 no período da manhã (9:00), meio dia (12:00), tarde (17:00) e noite (22:00). A tabela 11 contém as temperaturas iniciais para cada horário da simulação e no anexo D podem ser encontradas todas as medições para estimar essa média.

Tabela 11 – Temperatura média para os dias 8, 9 e 10 de outubro de 2019

Horário	Temperatura Média em °C
9:00	24,00
12:00	30,00
17:00	35,6667
22:00	29,3333

Fonte: INMET (2019).

2.2.4.2 RADIAÇÃO

As coordenadas utilizadas para a segunda etapa do trabalho foram adaptadas para o município de Teresina – Piauí, onde teoricamente se encontra a residência e os valores podem ser consultados no anexo E. A figura 12 contém as coordenadas utilizadas no trabalho.

Figura 12 – Configurações do *Solar Ray Tracing* da residência

Solar Calculator [X]

Global Position

Longitude (deg)

Latitude (deg)

Timezone (+-GMT)

Date and Time

Day of Year

Day

Month

Time of Day

Hour

Minute

Mesh Orientation

North

X

Y

Z

East

X

Y

Z

Solar Irradiation Method

☐ Theoretical Maximum

☒ Fair Weather Conditions

Options

Sunshine Factor

Fonte: Própria (2020).

2.2.4.3 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Dentro do *Fluent* é necessário determinar as propriedades dos materiais (Concreto e cerâmica) para que a simulação seja realizada.

2.2.4.3.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO E CERÂMICA

As propriedades do concreto e cerâmica seguem com as mesmas características citadas anteriormente na tabela 9 que contém as propriedades utilizadas no trabalho com exceção do coeficiente global de transferência de calor, devido ao fato da espessura do bloco ser alterada para 15 cm. As propriedades foram consideradas constantes ao longo da geometria das paredes.

2.2.4.3.2 PROPRIEDADES DO AR

O modelo de densidade escolhido foi o modelo *Boussinesq* disponível no *Fluent*, no qual configura o problema com a densidade em função da temperatura, obtém convergência rapidamente e ideal para problemas com baixas diferenças de temperatura no domínio. As propriedades do ar podem ser encontradas realizando

uma interpolação conforme a temperatura do ambiente muda ao longo do trabalho e dentro do software foi estabelecida uma equação para cada propriedade, na qual varia em função da temperatura. As propriedades do ar seguem a tabela 10 citada anteriormente.

3 RESULTADOS

Neste capítulo do trabalho, apresenta-se os resultados das simulações na primeira etapa e é verificada a validação da metodologia aplicada. Em seguida é apresentado os resultados das simulações na segunda etapa.

3.1 RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

3.1.1 BLOCOS DE CERÂMICA

A tabela 12 contém os resultados das medições de temperatura média das simulações realizadas ao longo do dia para os blocos cerâmicos.

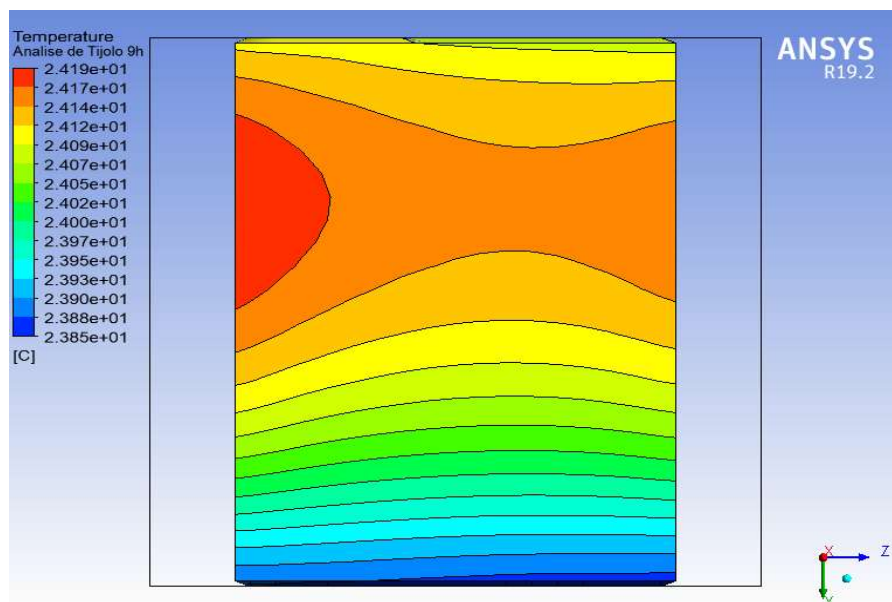
Tabela 12 – Temperatura média do protótipo de cerâmica

Horário	Temperatura Média em °C
9:00	24,0225
12:00	30,549
16:00	33,284
19:00	31,366

Fonte: Própria (2020).

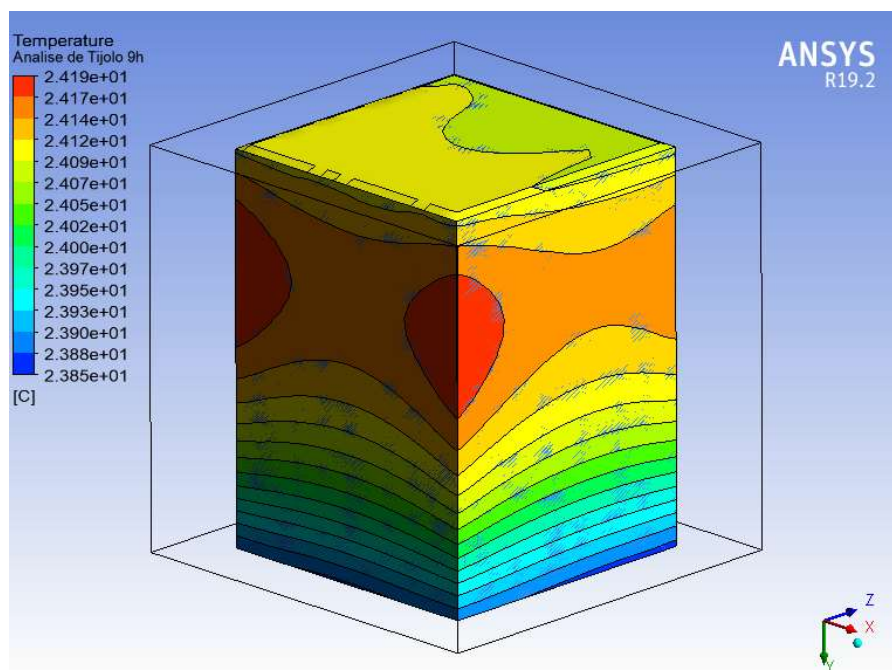
A primeira simulação ocorreu no horário de 9:00 e com temperatura inicial externa de 21,367°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 23,854°C até uma temperatura máxima de 24,191°C. A temperatura média da simulação foi de 24,0225°C. As figuras 13 e 14 contém a distribuição da temperatura da caixa de ar nas vistas lateral e isométrica, respectivamente.

Figura 13 – Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 9:00 na vista lateral



Fonte: Própria (2020).

Figura 14 – Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 9:00 na vista isométrica



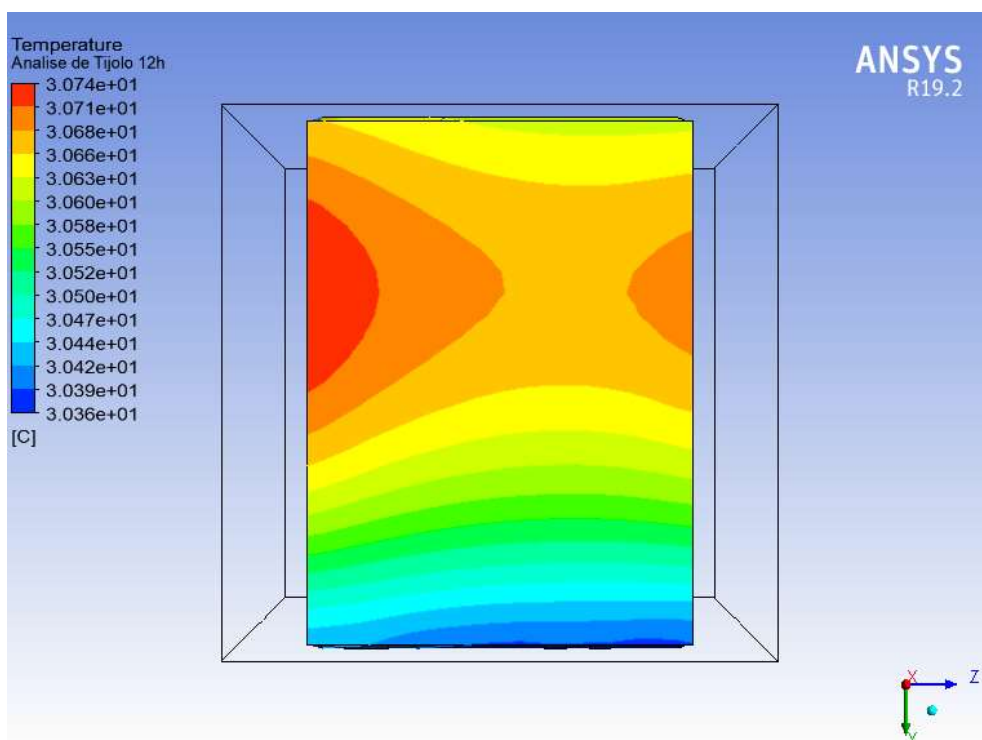
Fonte: Própria (2020).

O sol atinge a face esquerda das imagens e a temperatura mais alta se concentra na região superficial-central do lado esquerdo e vai diminuindo conforme se aproxima do chão e da face do lado oposto.

Para o período de 9:00, comparando o resultado da temperatura média encontrada na simulação com o valor da temperatura média do trabalho experimental, que pode ser consultado no anexo C, a divergência entre os valores é de aproximadamente 7,56% e, portanto, representa resultados próximos.

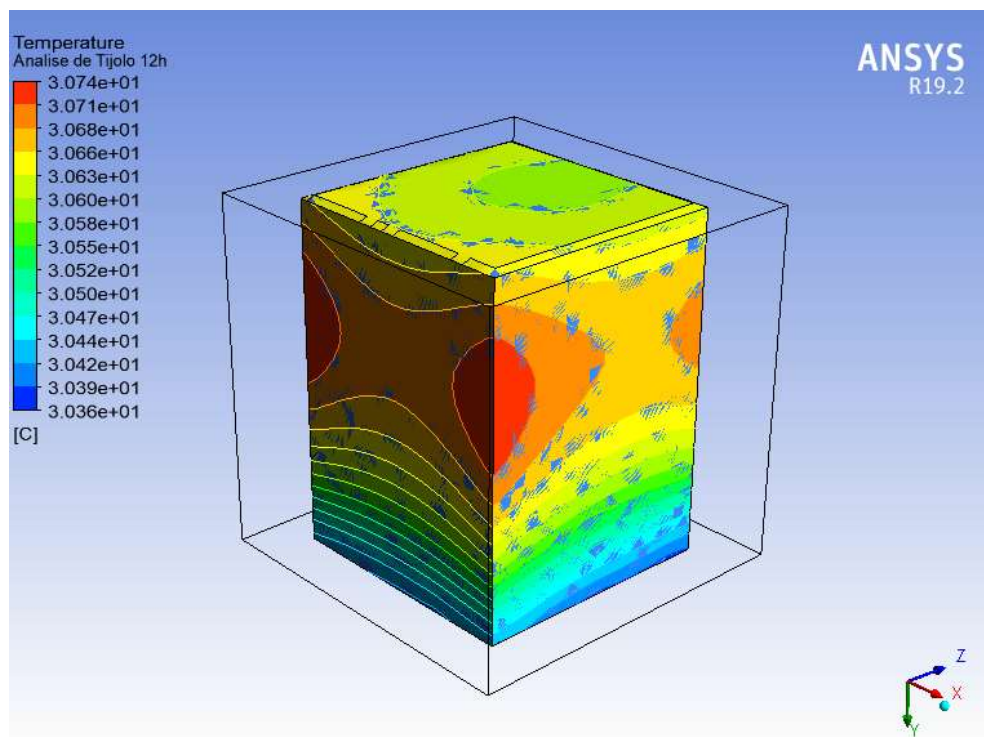
A segunda simulação ocorreu no horário de 12:00 e com temperatura inicial externa de 28,800°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 30,362°C até uma temperatura máxima de 30,736°C. A temperatura média da simulação foi de 30,549°C. As figuras 15 e 16 contém a distribuição da temperatura da caixa de ar nas vistas lateral e isométrica, respectivamente.

Figura 15 – Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 12:00 na vista lateral



Fonte: Própria (2020).

Figura 16– Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 12:00 na vista isométrica

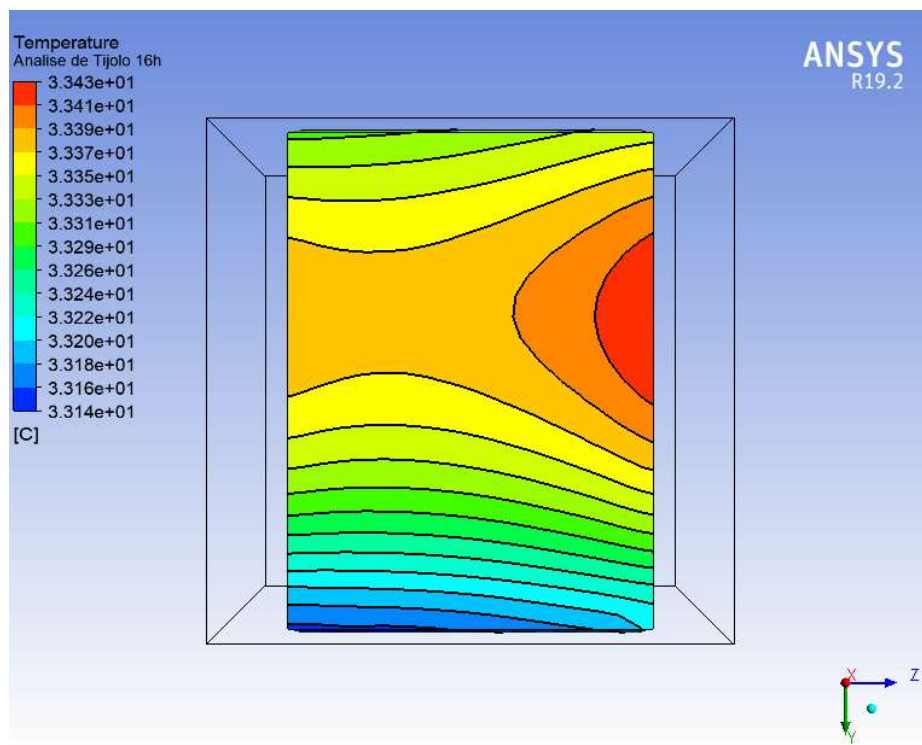


Fonte: Própria (2020).

Para o período de 12:00, comparando o resultado da temperatura média encontrada na simulação com o valor da temperatura média do trabalho experimental, a divergência entre os valores é de aproximadamente 11,08%.

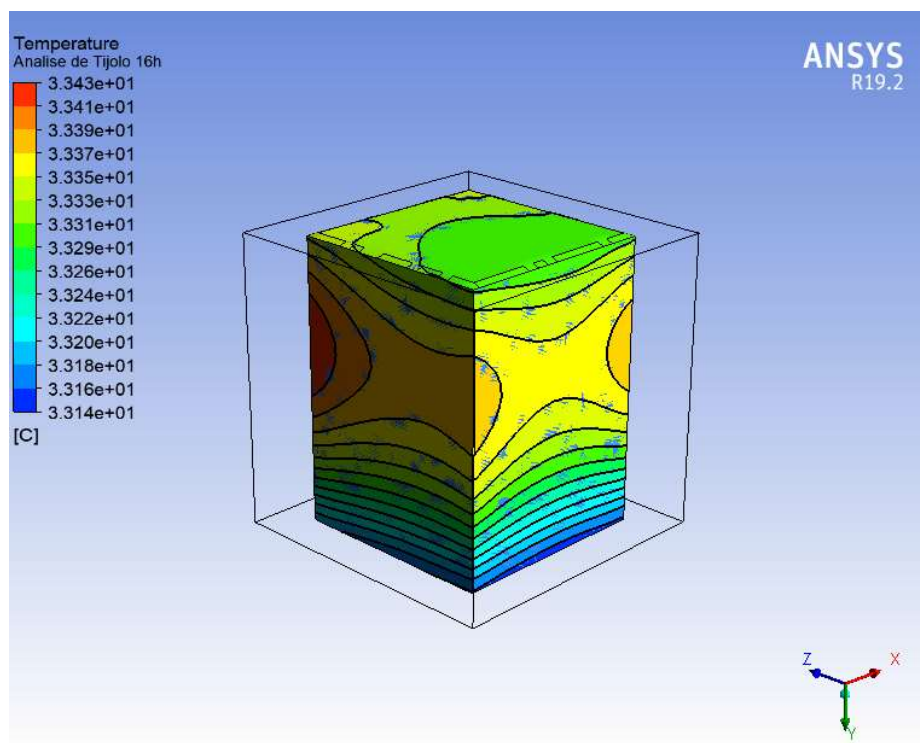
A terceira simulação ocorreu no horário de 16:00 e com temperatura inicial externa de 30,967°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 33,138°C até uma temperatura máxima de 33,430°C. A temperatura média da simulação foi de 33,284°C. As figuras 17 e 18 contém a distribuição da temperatura da caixa de ar nas vistas lateral e isométrica, respectivamente.

Figura 17 – Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 16:00 na vista lateral



Fonte: Própria (2020).

Figura 18– Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 16:00 na vista isométrica

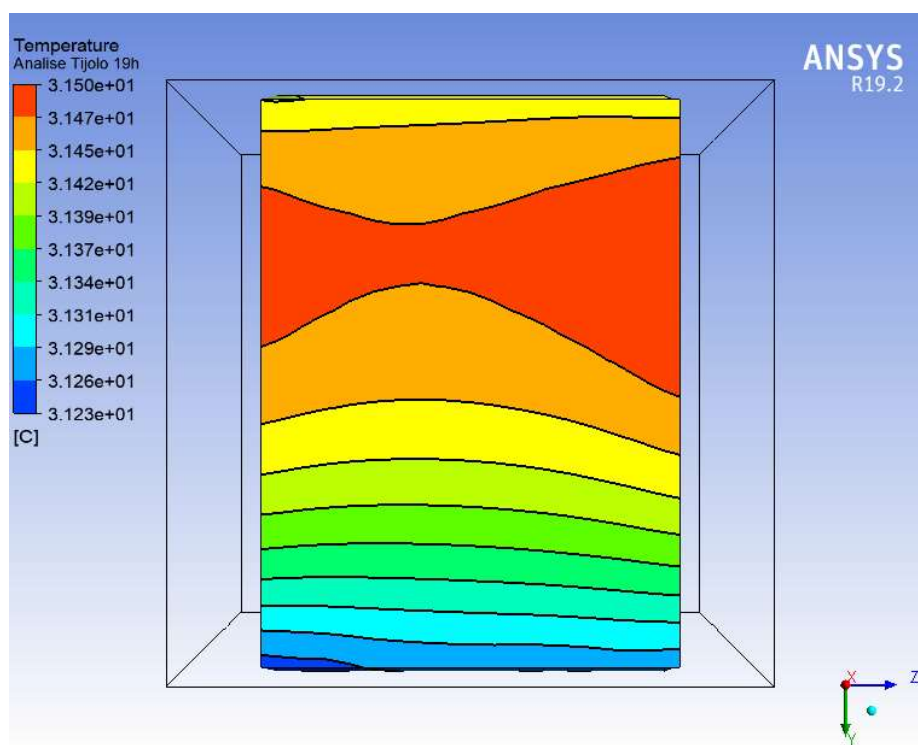


Fonte: Própria (2020).

Para o período de 16:00, comparando o resultado da temperatura média encontrada na simulação com o valor da temperatura média do trabalho, a divergência entre os valores é de aproximadamente 11,94% que ainda é um valor aceitável de variação devido as equações de radiação do software.

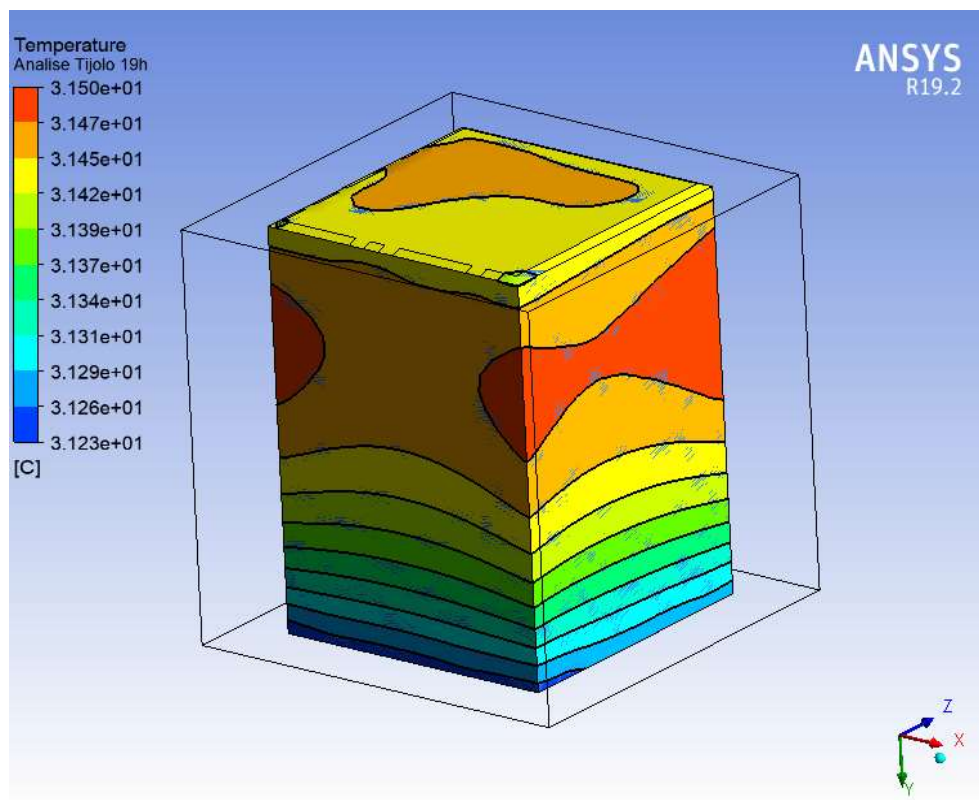
A quarta simulação ocorreu no horário de 19:00, onde já não havia a presença do sol e com temperatura inicial externa de 30,367°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 31,233°C até uma temperatura máxima de 31,499°C. A temperatura média da simulação foi de 31,366°C. As figuras 19 e 20 contém a distribuição da temperatura da caixa de ar nas vistas lateral e isométrica, respectivamente.

Figura 19 – Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 19:00 na vista lateral



Fonte: Própria (2020).

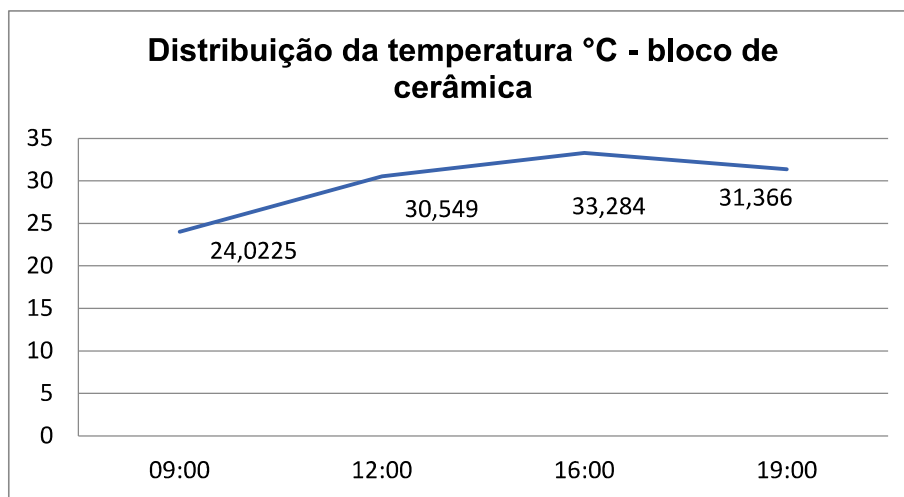
Figura 20 – Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica as 19:00 na vista isométrica



Fonte: Própria (2020).

Para o período de 19:00, comparando o resultado da temperatura média encontrada na simulação com o valor da temperatura média do trabalho experimental, a divergência entre os valores é de aproximadamente 3,29% e, portanto, representa resultados próximos.

O gráfico 1 contém a distribuição da temperatura do protótipo de cerâmica ao longo das simulações.

Gráfico 1 – Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica

Fonte: Própria (2020).

3.1.2 BLOCOS DE CONCRETO

A tabela 13 contém os resultados das medições de temperatura média das simulações realizadas ao longo do dia para os blocos de concreto.

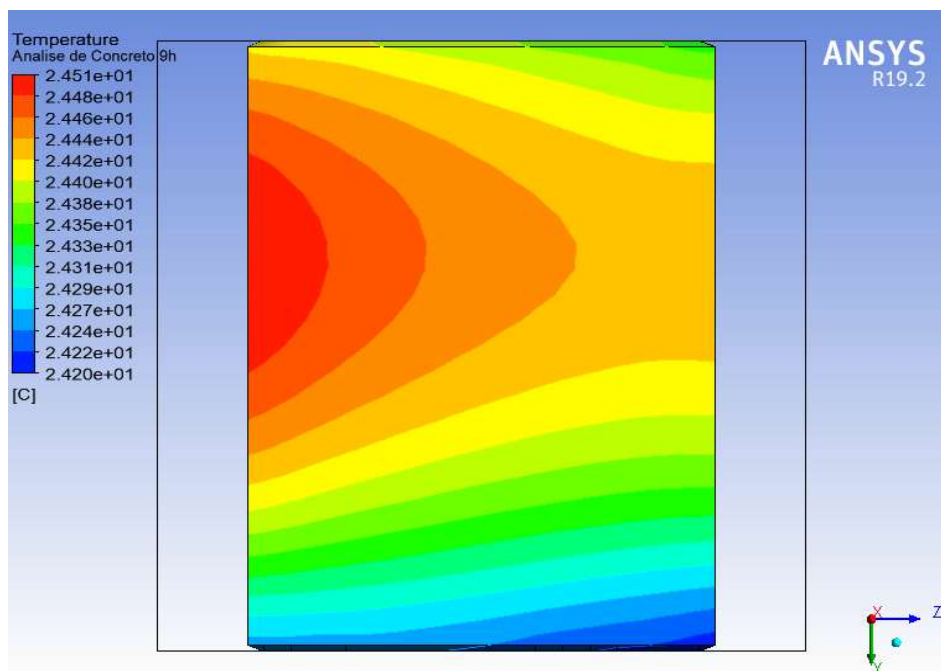
Tabela 13 – Temperatura média do protótipo de concreto

Horário	Temperatura Média em °C
9:00	24,353
12:00	30,825
16:00	33,475
19:00	31,316

Fonte: Própria (2020).

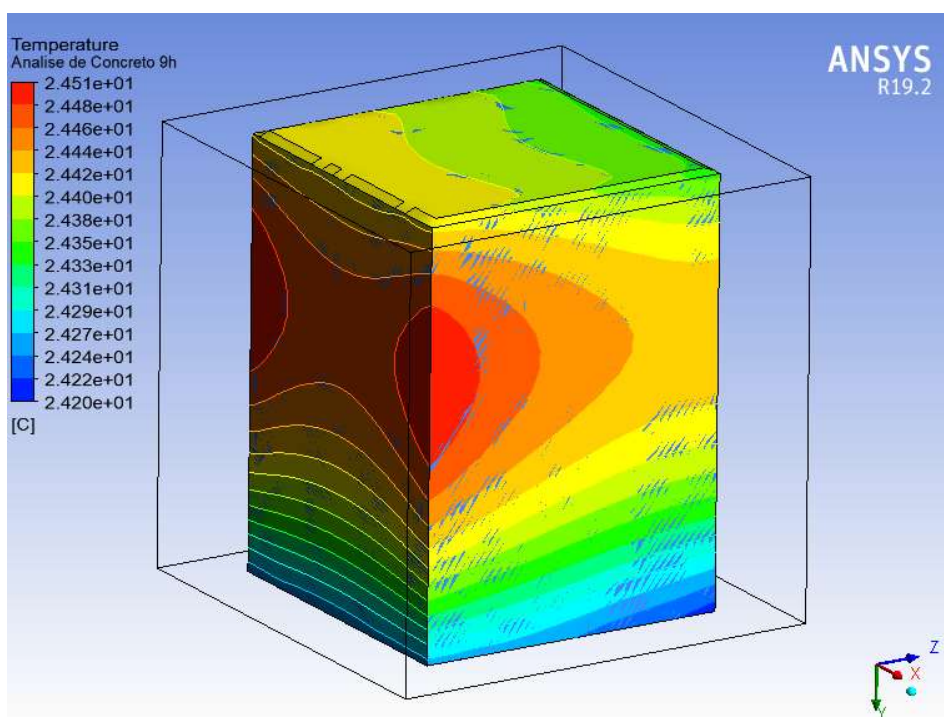
A primeira simulação ocorreu no horário de 9:00 e com temperatura inicial externa de 21,367°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 24,201°C até uma temperatura máxima de 24,506°C. A temperatura média da simulação foi de 24,353°C. As figuras 21 e 22 contém a distribuição da temperatura da caixa de ar nas vistas lateral e isométrica, respectivamente.

Figura 21 – Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 9:00 na vista lateral



Fonte: Própria (2020).

Figura 22 – Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 9:00 na vista isométrica

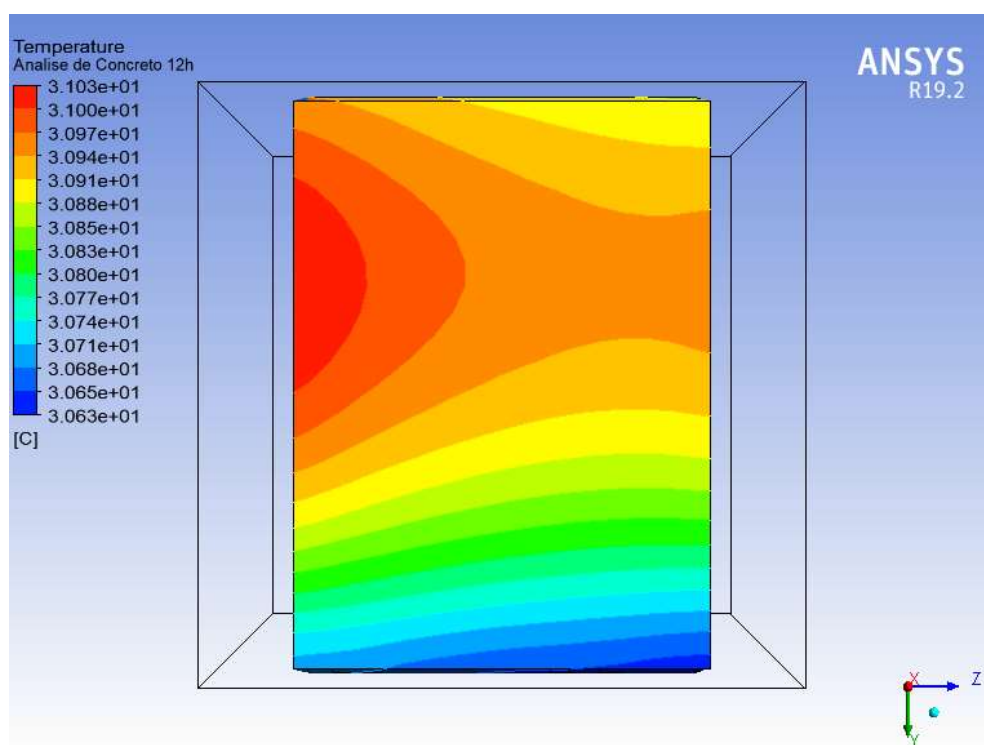


Fonte: Própria (2020).

Para o período de 9:00, comparando o resultado da temperatura média encontrada na simulação com o valor da temperatura média do trabalho experimental, que pode ser consultado no anexo C, a divergência entre os valores é de aproximadamente 10,19%.

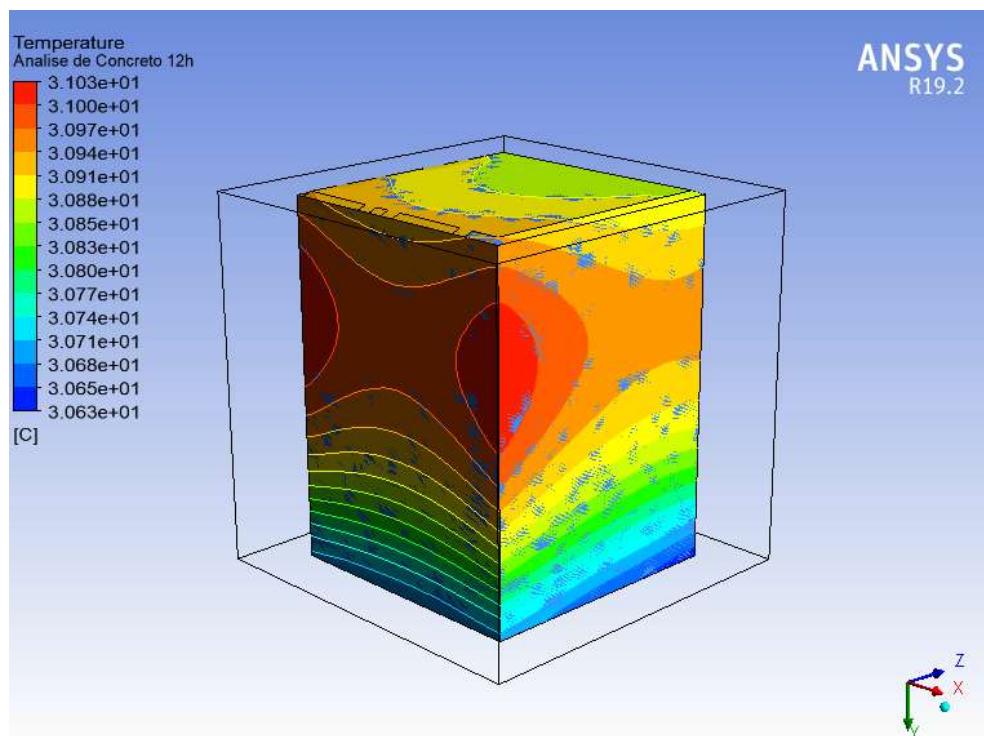
A segunda simulação ocorreu no horário de 12:00 e com temperatura inicial externa de 28,800°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 30,625°C até uma temperatura máxima de 31,025°C. A temperatura média da simulação foi de 30,825°C. As figuras 23 e 24 contém a distribuição da temperatura da caixa de ar nas vistas lateral e isométrica, respectivamente.

Figura 23 – Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 12:00 na vista lateral



Fonte: Própria (2020).

Figura 24 – Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 12:00 na vista isométrica

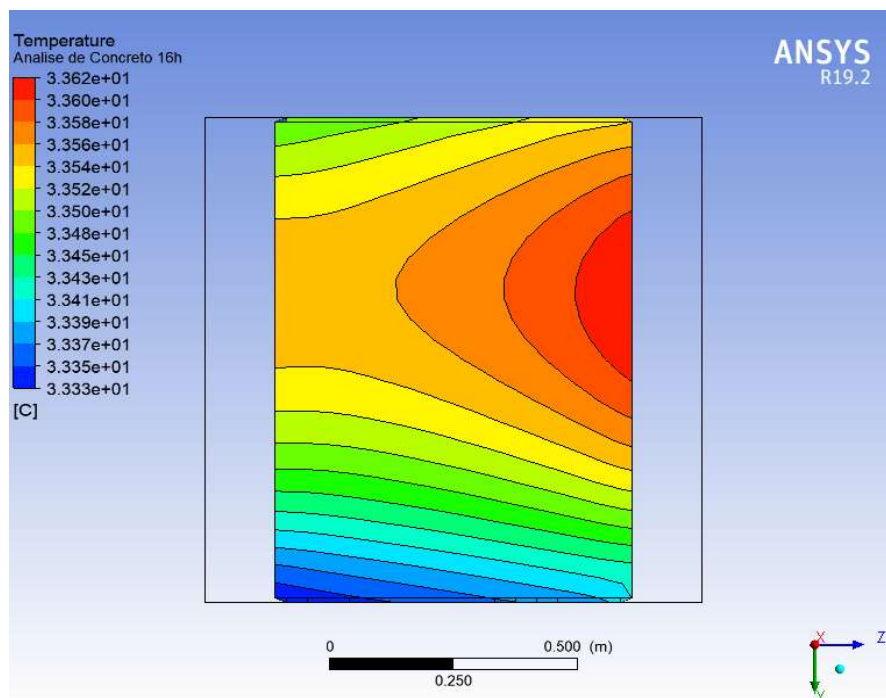


Fonte: Própria (2020).

Para o período de 12:00, comparando o resultado da temperatura média encontrada na simulação com o valor da temperatura média do trabalho experimental, a divergência entre os valores é de aproximadamente 9,28%.

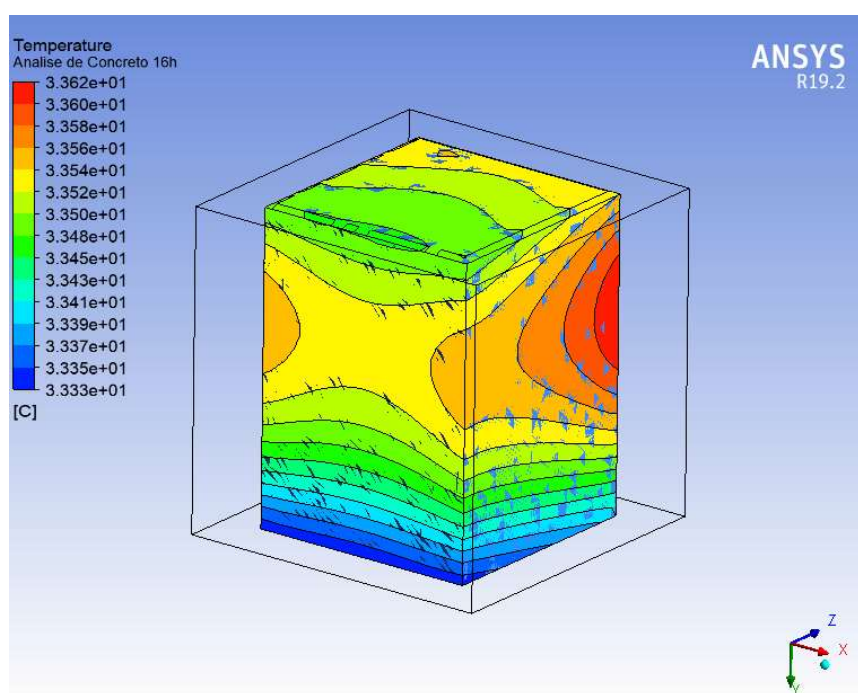
A terceira simulação ocorreu no horário de 16:00 e com temperatura inicial externa de 30,967°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 33,329°C até uma temperatura máxima de 33,622°C. A temperatura média da simulação foi de 33,622°C. As figuras 25 e 26 contém a distribuição da temperatura da caixa de ar nas vistas lateral e isométrica, respectivamente.

Figura 25 – Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 16:00 na vista lateral



Fonte: Própria (2020).

Figura 26 – Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 16:00 na vista isométrica

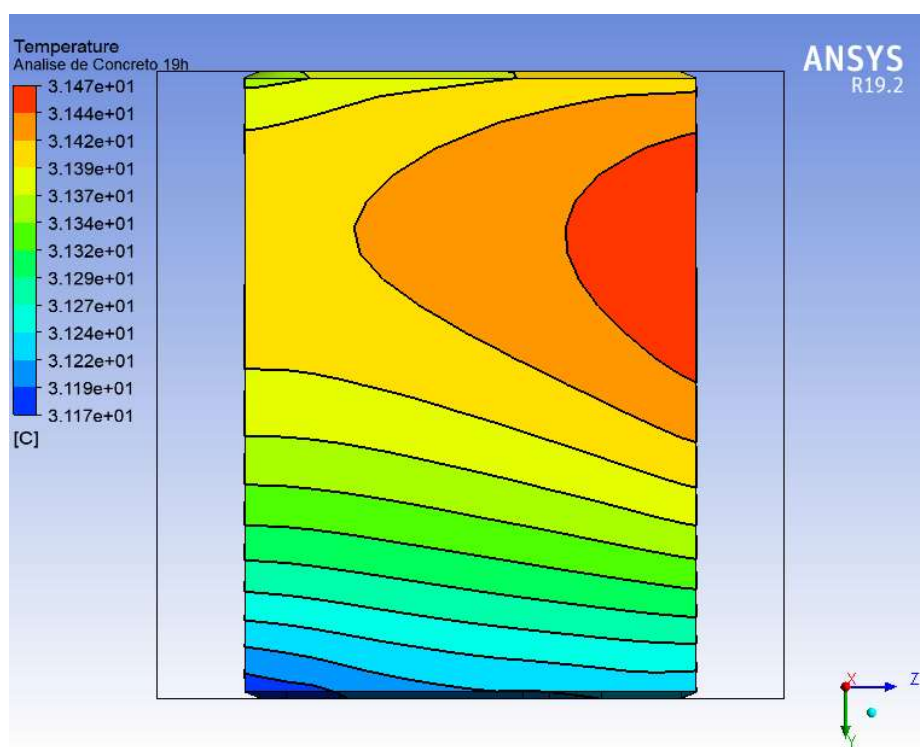


Fonte: Própria (2020).

Para o período de 16:00, comparando o resultado da temperatura média encontrada na simulação com o valor da temperatura média do trabalho experimental, a divergência entre os valores é de aproximadamente 9,515%.

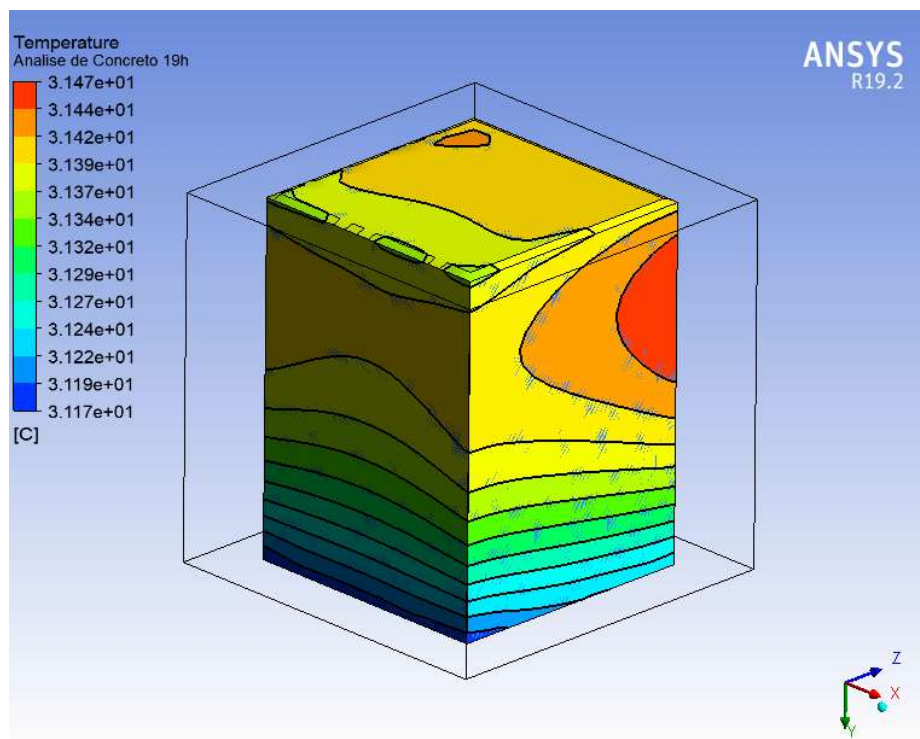
A quarta simulação ocorreu no horário de 19:00 e com temperatura inicial externa de 27,533°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 31,167°C até uma temperatura máxima de 31,465°C. A temperatura média da simulação foi de 31,316°C. As figuras 27 e 28 contém a distribuição da temperatura da caixa de ar nas vistas lateral e isométrica, respectivamente.

Figura 27 – Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 19:00 na vista lateral



Fonte: Própria (2020).

Figura 28 – Distribuição da temperatura do bloco de concreto as 19:00 na vista isométrica

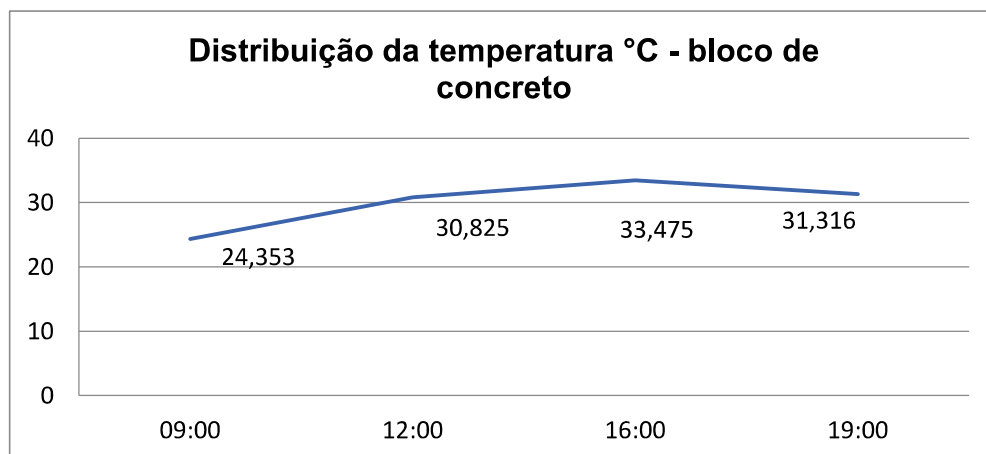


Fonte: Própria (2020).

Para o período de 19:00, comparando o resultado da temperatura média encontrada na simulação com o valor da temperatura média do trabalho experimental, a divergência entre os valores é de aproximadamente 4,794% e, portanto, representa resultados próximos.

O gráfico 2 contém a distribuição da temperatura do protótipo de concreto ao longo das simulações.

Gráfico 2 – Distribuição da temperatura do bloco de concreto



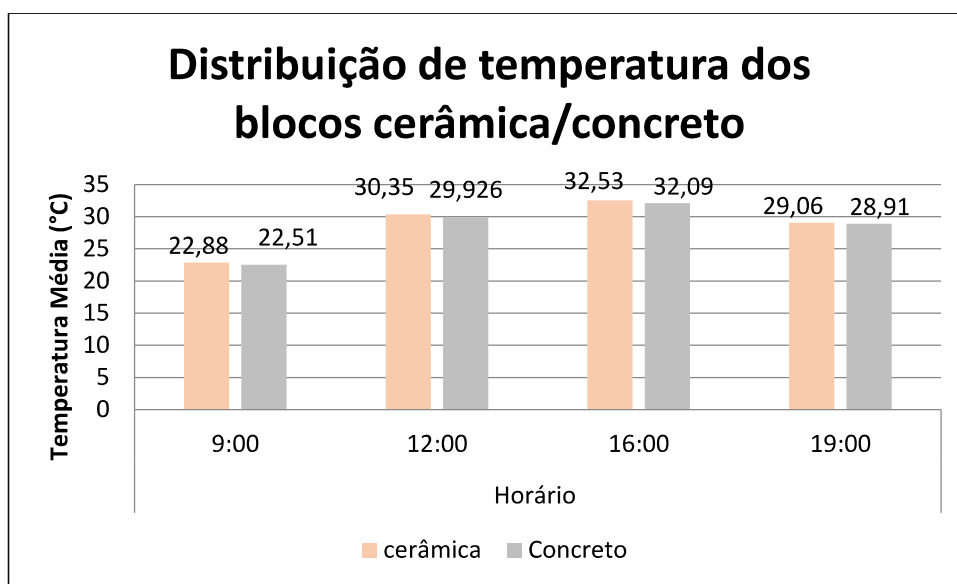
Fonte: Própria (2020).

3.1.3 Validação das simulações

Os resultados encontrados nas simulações ao serem comparados com os resultados do trabalho experimental são valores próximos com divergência de até 11,9% e podem ser considerados valores válidos para uma simulação térmica. Essa divergência ocorre devido a simulação depender de diversos fatores, como as equações de condução e convecção adotadas pelo ANSYS, as equações de radiação do *Solar Ray Tracing* e qualidade da malha. Portanto, as simulações térmicas são válidas e a metodologia pode ser utilizada na segunda etapa do trabalho.

O gráfico 3 contém a distribuição de temperatura do bloco de concreto e cerâmica ao longo das simulações.

Gráfico 3 – Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica/concreto



Fonte: Própria (2020).

Analisando os resultados de cada tipo de bloco pelas temperaturas médias, o bloco de cerâmica se comporta como melhor isolante térmico em relação ao bloco de concreto em 3 dos 4 horários nos quais as simulações foram realizadas. Durante o período da manhã e tarde, o bloco de cerâmica apresentou uma temperatura menor que o bloco de concreto e na quarta simulação (19:00), o bloco de cerâmica apresentou uma temperatura maior que o bloco de concreto. Dessa

forma podemos afirmar que o bloco de cerâmica leva mais tempo tanto para esquentar quanto para esfriar, devido ao fato de apresentar condutibilidade térmica menor que o do concreto.

3.2 RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

3.2.1 Alvenaria de cerâmica

A tabela 14 contém os resultados das medições de temperatura média das simulações realizadas ao longo do dia para os blocos cerâmicos nas paredes da residência.

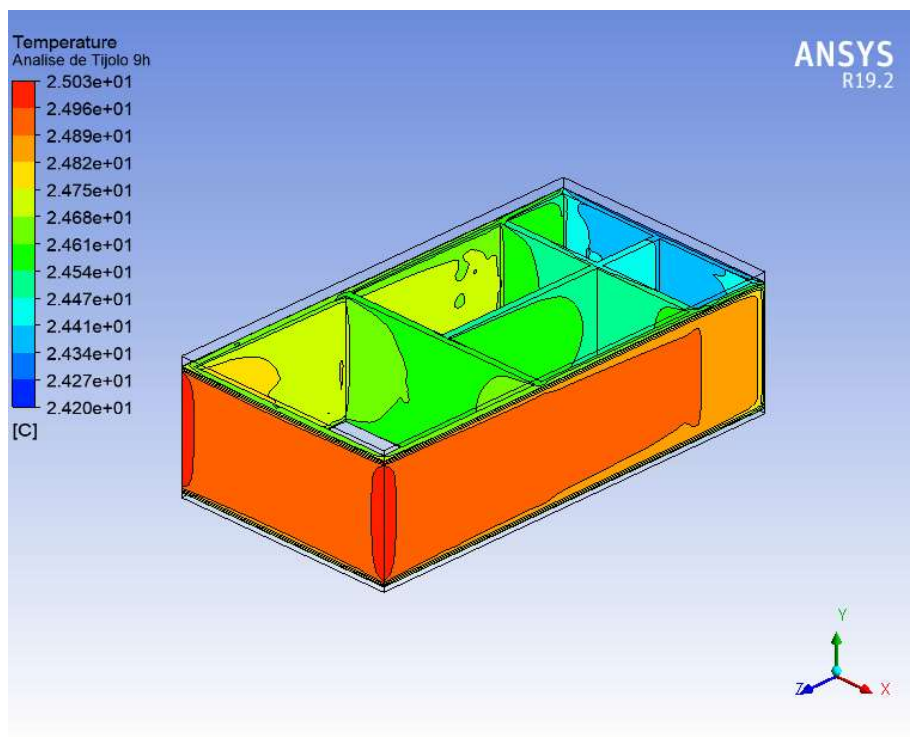
Tabela 14 – Temperatura média do bloco de cerâmica do modelo residencial

Horário	Temperatura Média em °C
9:00	24,6125
12:00	30,5875
17:00	36,2455
22:00	30,09

Fonte: Própria (2020).

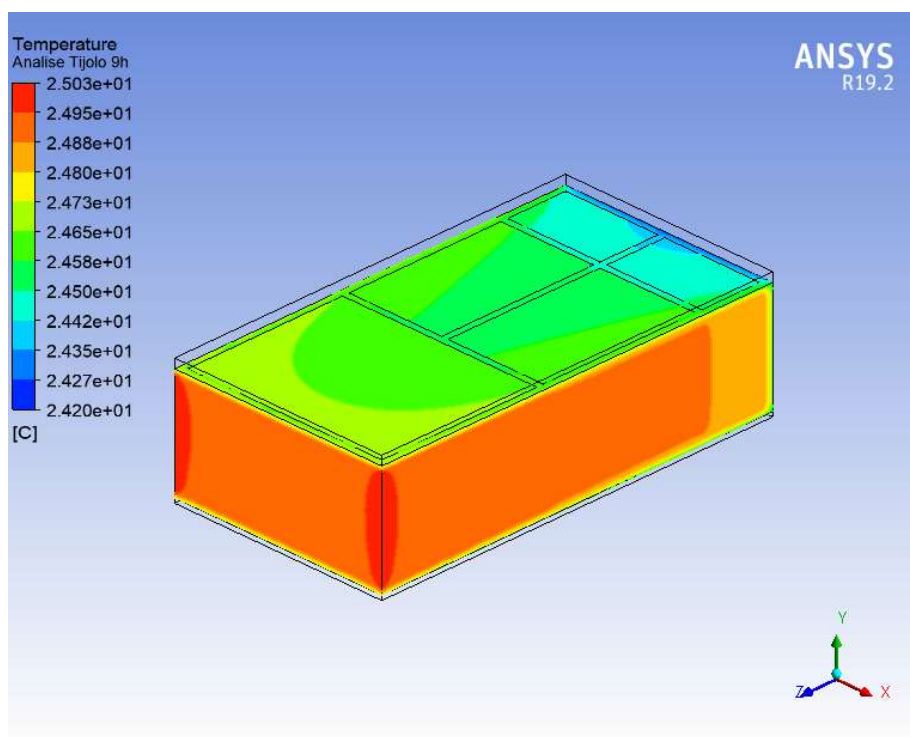
A primeira simulação ocorreu no horário de 9:00 e com temperatura inicial externa de 24,00°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 24,20°C até uma temperatura máxima de 25,025°C. A temperatura média da simulação foi de 24,6125°C. As figuras 29 e 30 contém a distribuição da temperatura da parede e parede/caixa de ar na vista lateral, respectivamente.

Figura 29 – Distribuição da temperatura na parede nos blocos de cerâmica as 9:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

Figura 30 – Distribuição da temperatura na parede/caixa de ar nos blocos de cerâmica as 9:00 da parede da residência

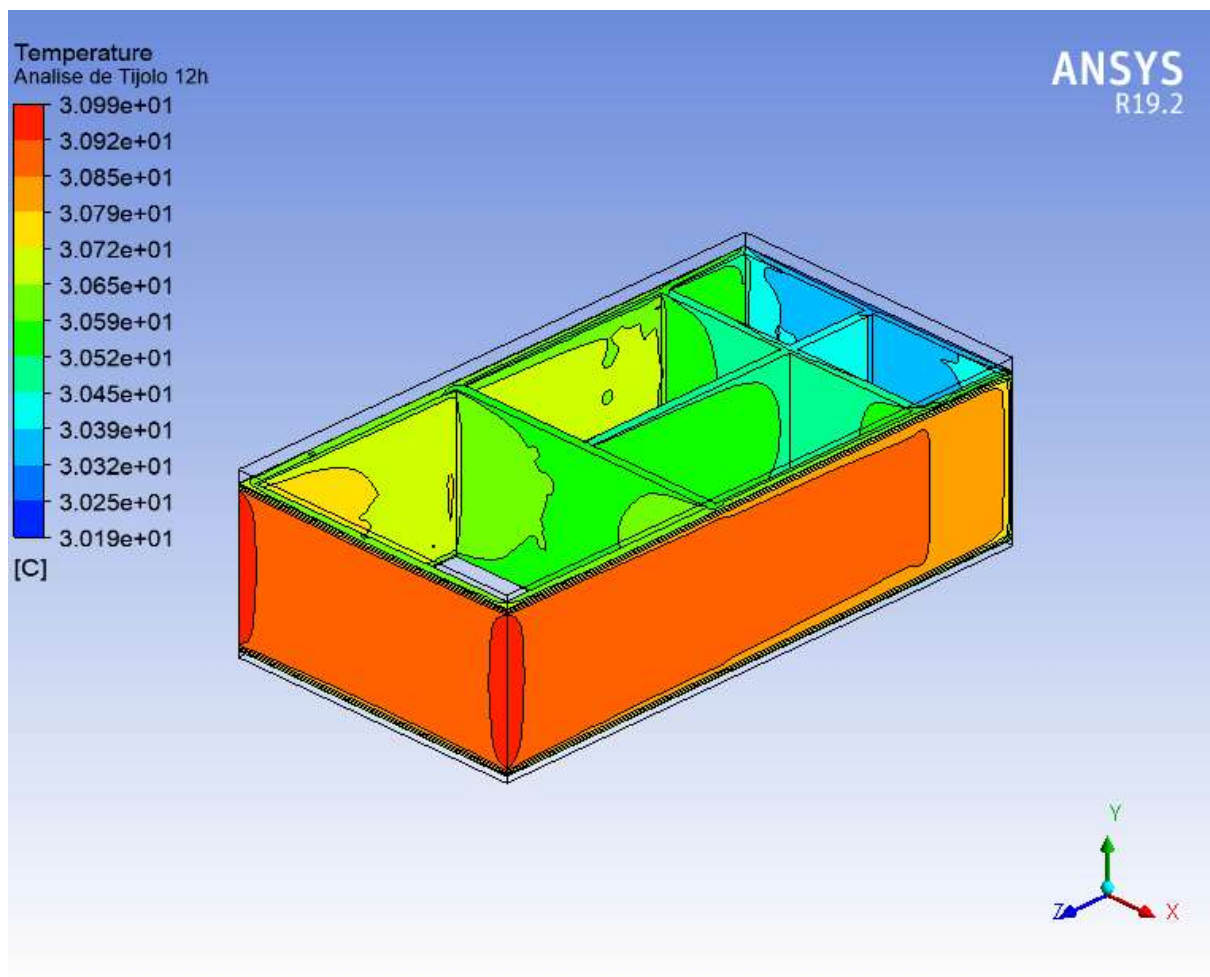


Fonte: Própria (2020).

O sol atinge a face esquerda das imagens onde se concentra a temperatura mais elevada e vai diminuindo conforme se aproxima da face oposta.

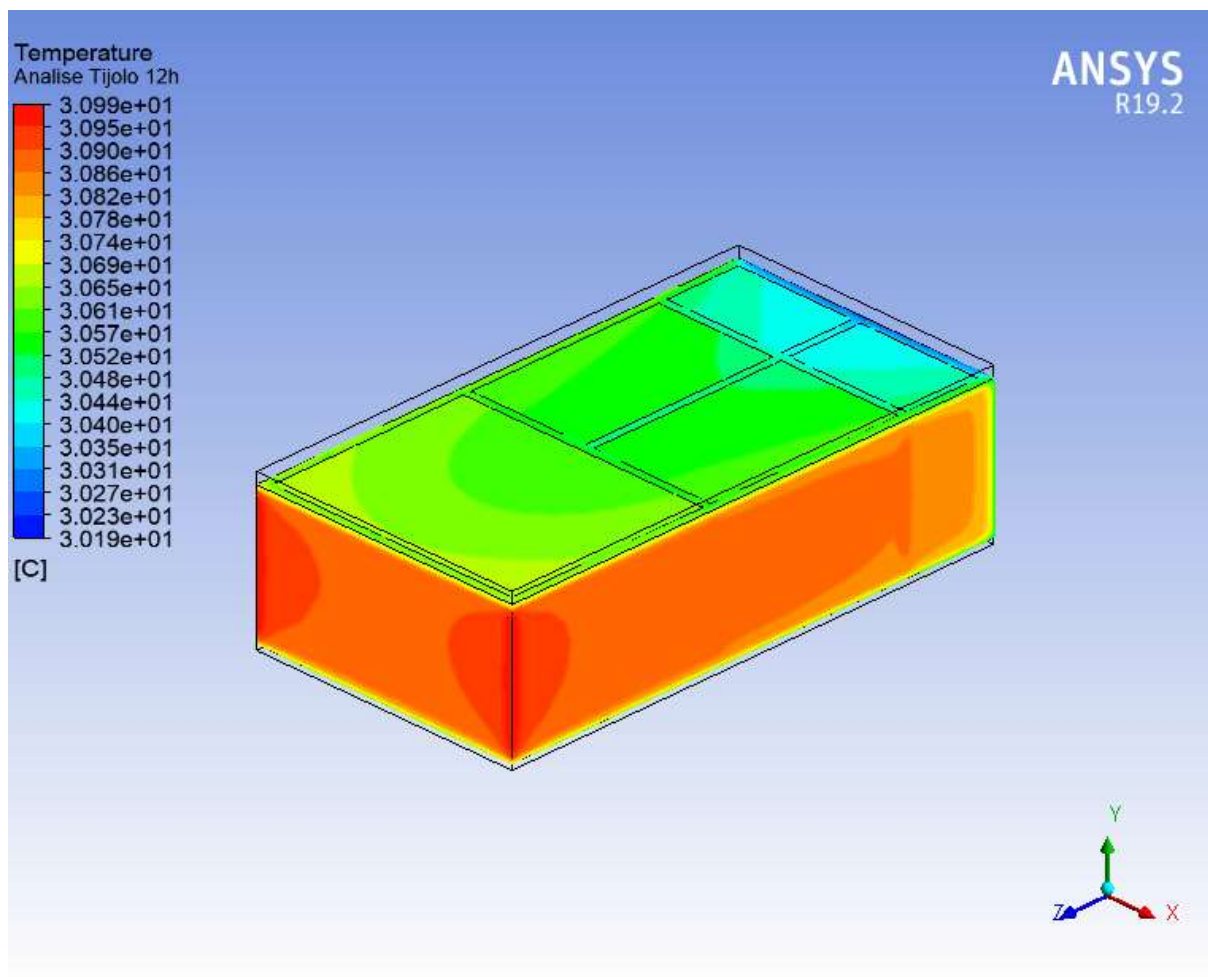
A segunda simulação ocorreu no horário de 12:00 e com temperatura inicial externa de 30,00°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 30,186°C até uma temperatura máxima de 30,989°C. A temperatura média da simulação foi de 30,5875°C. As figuras 31 e 32 contêm a distribuição da temperatura da parede e parede/caixa de ar na vista lateral, respectivamente.

Figura 31 – Distribuição da temperatura na parede nos blocos de cerâmica as 12:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

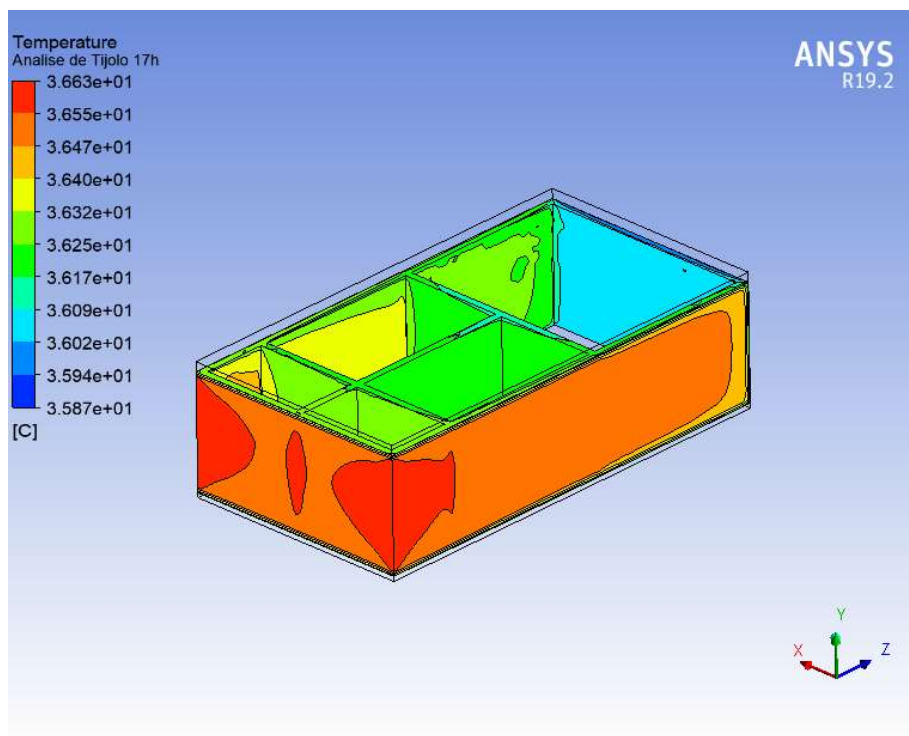
Figura 32 – Distribuição da temperatura na parede/caixa de ar nos blocos de cerâmica as 12:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

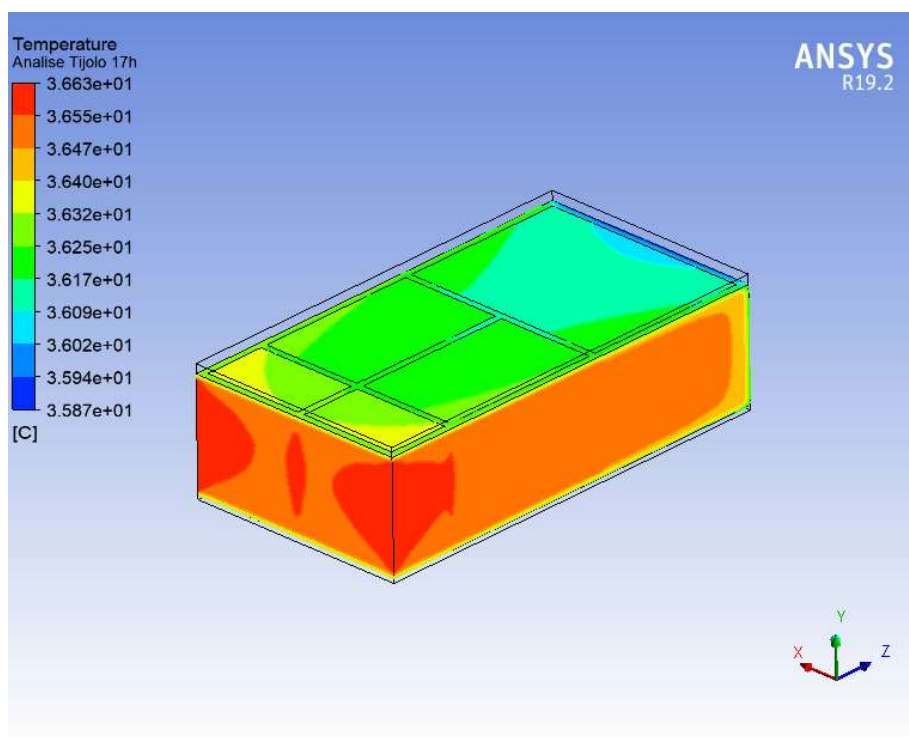
A terceira simulação ocorreu no horário de 17:00 e com temperatura inicial externa de 35,6667°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 35,886°C até uma temperatura máxima de 36,625°C. A temperatura média da simulação foi de 36,2455°C. As figuras 33 e 34 contém a distribuição da temperatura da parede e parede/caixa de ar na vista lateral, respectivamente. A imagem foi invertida em relação as passadas para mostrar a região onde o sol atinge a parede.

Figura 33 – Distribuição da temperatura na parede nos blocos de cerâmica as 17:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

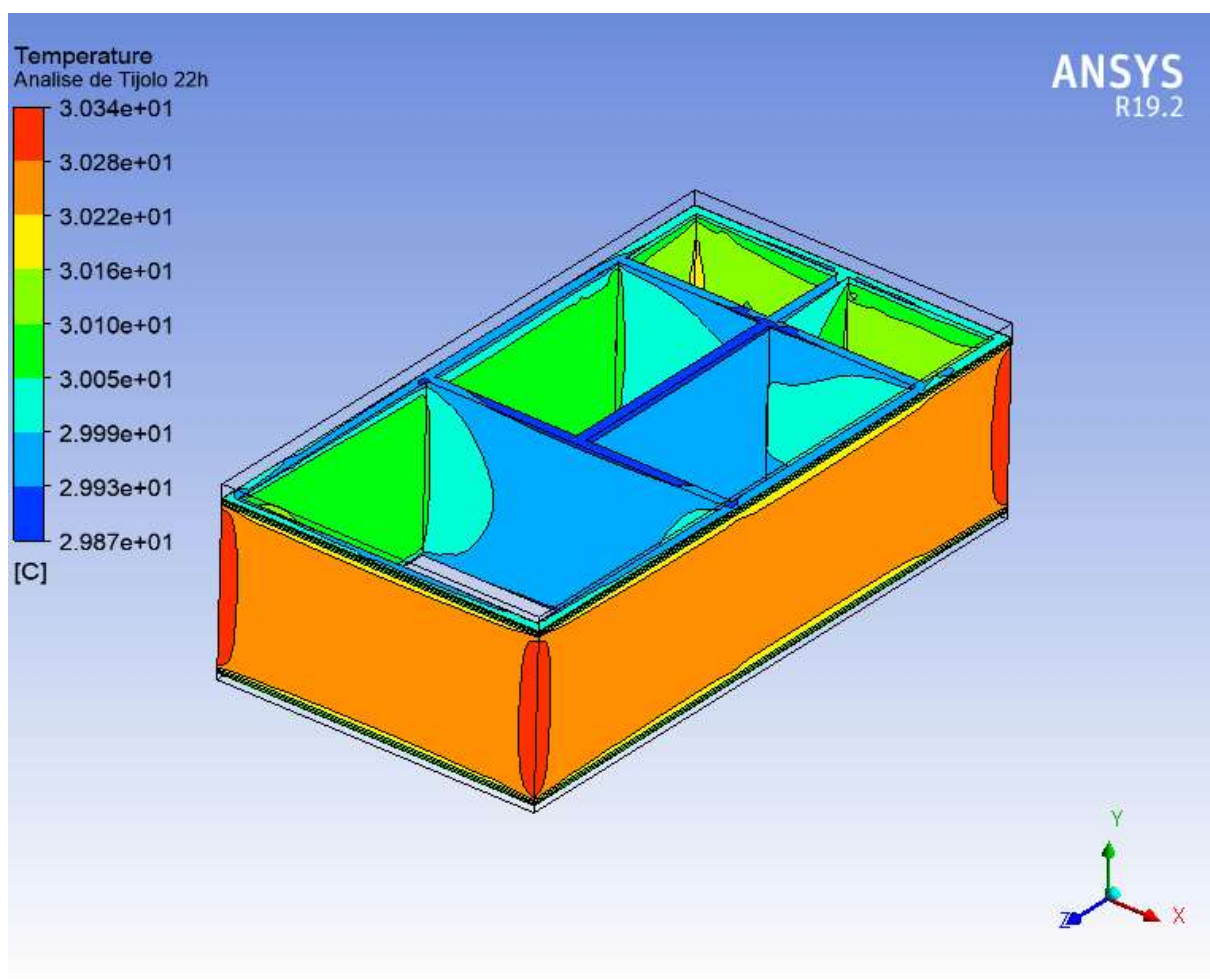
Figura 34 – Distribuição da temperatura na parede/caixa de ar nos blocos de cerâmica as 17:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

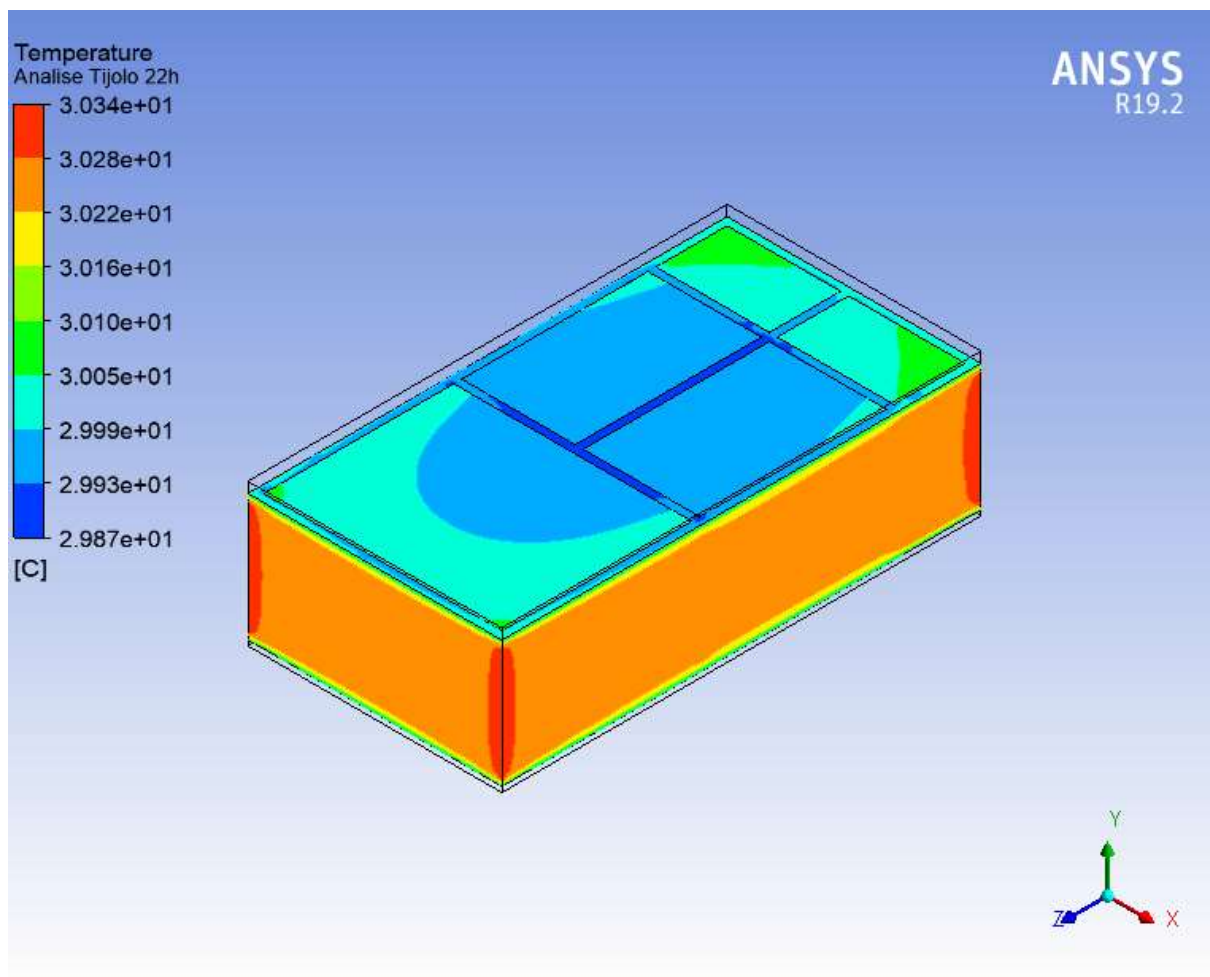
A quarta simulação ocorreu no horário de 22:00 e com temperatura inicial externa de 30,090°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 29,875°C até uma temperatura máxima de 30,335°C. A temperatura média da simulação foi de 30,2455°C. As figuras 35 e 36 contêm a distribuição da temperatura da parede e parede/caixa de ar na vista lateral, respectivamente.

Figura 35 – Distribuição da temperatura na parede nos blocos de cerâmica as 22:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

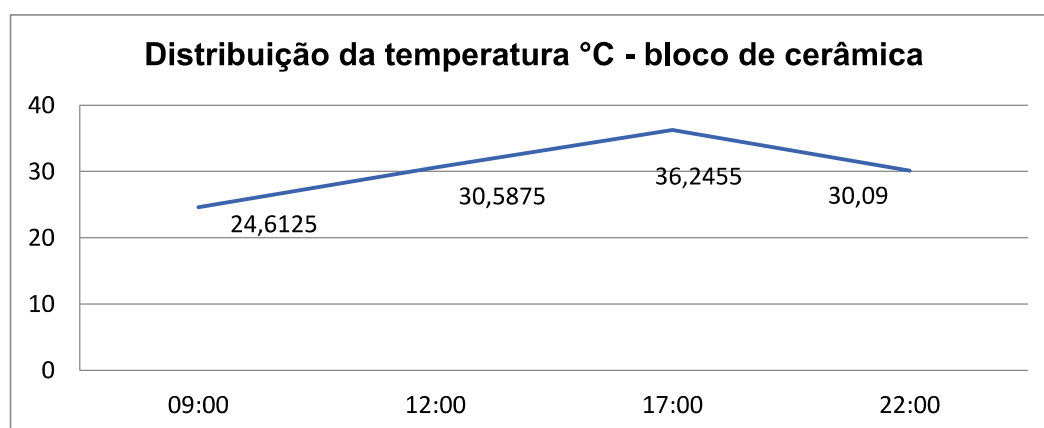
Figura 36 – Distribuição da temperatura na parede/caixa de ar nos blocos de cerâmica as 22:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

O gráfico 4, contém a distribuição da temperatura do protótipo de cer ao longo das simulações.

Gráfico 4 – Distribuição da temperatura dos blocos de cerâmica na residência



Fonte: Própria (2020).

3.2.2 Alvenaria de concreto

A tabela 15 contém os resultados das medições de temperatura média das simulações realizadas ao longo do dia para os blocos de concreto nas paredes da residência.

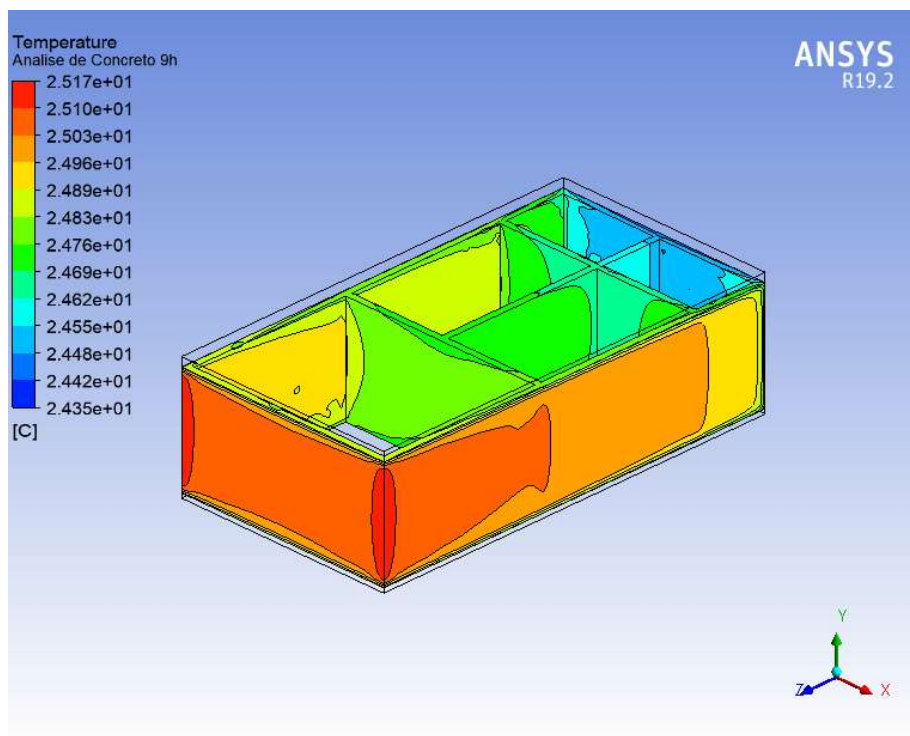
Tabela 15 – Temperatura média do bloco de concreto do modelo residencial

Horário	Temperatura Média em °C
9:00	24,763
12:00	30,7265
17:00	36,382
22:00	30,258

Fonte: Própria (2020).

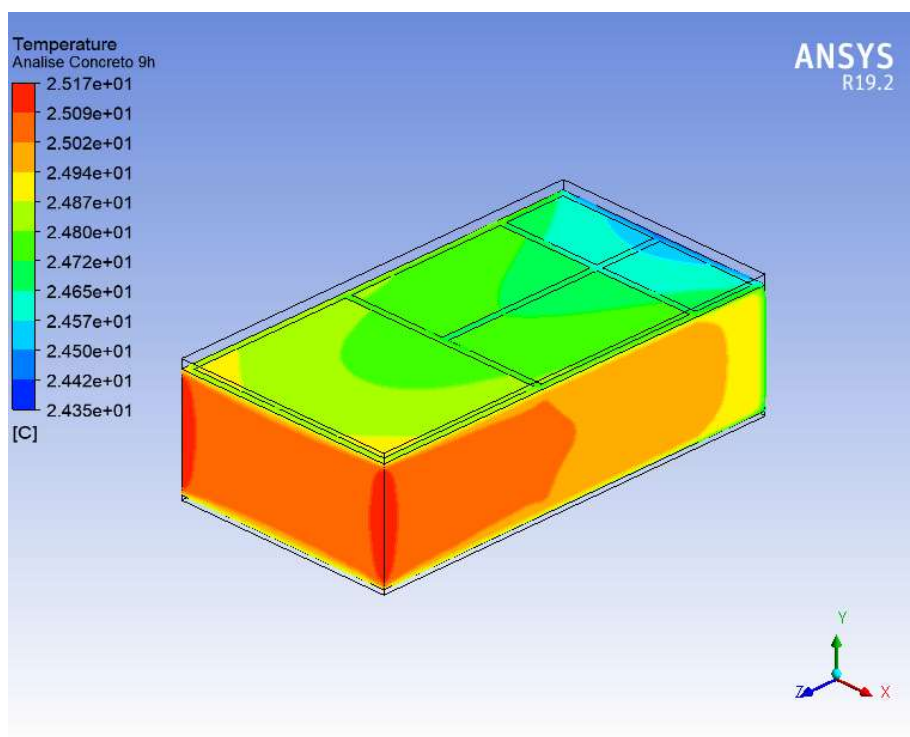
A primeira simulação ocorreu no horário de 9:00 e com temperatura inicial externa de 24,00°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 24,358°C até uma temperatura máxima de 25,168°C. A temperatura média da simulação foi de 24,763°C. As figuras 37 e 38 contém a distribuição da temperatura da parede e parede/caixa de ar na vista lateral, respectivamente.

Figura 37 – Distribuição da temperatura na parede nos blocos de concreto as 9:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

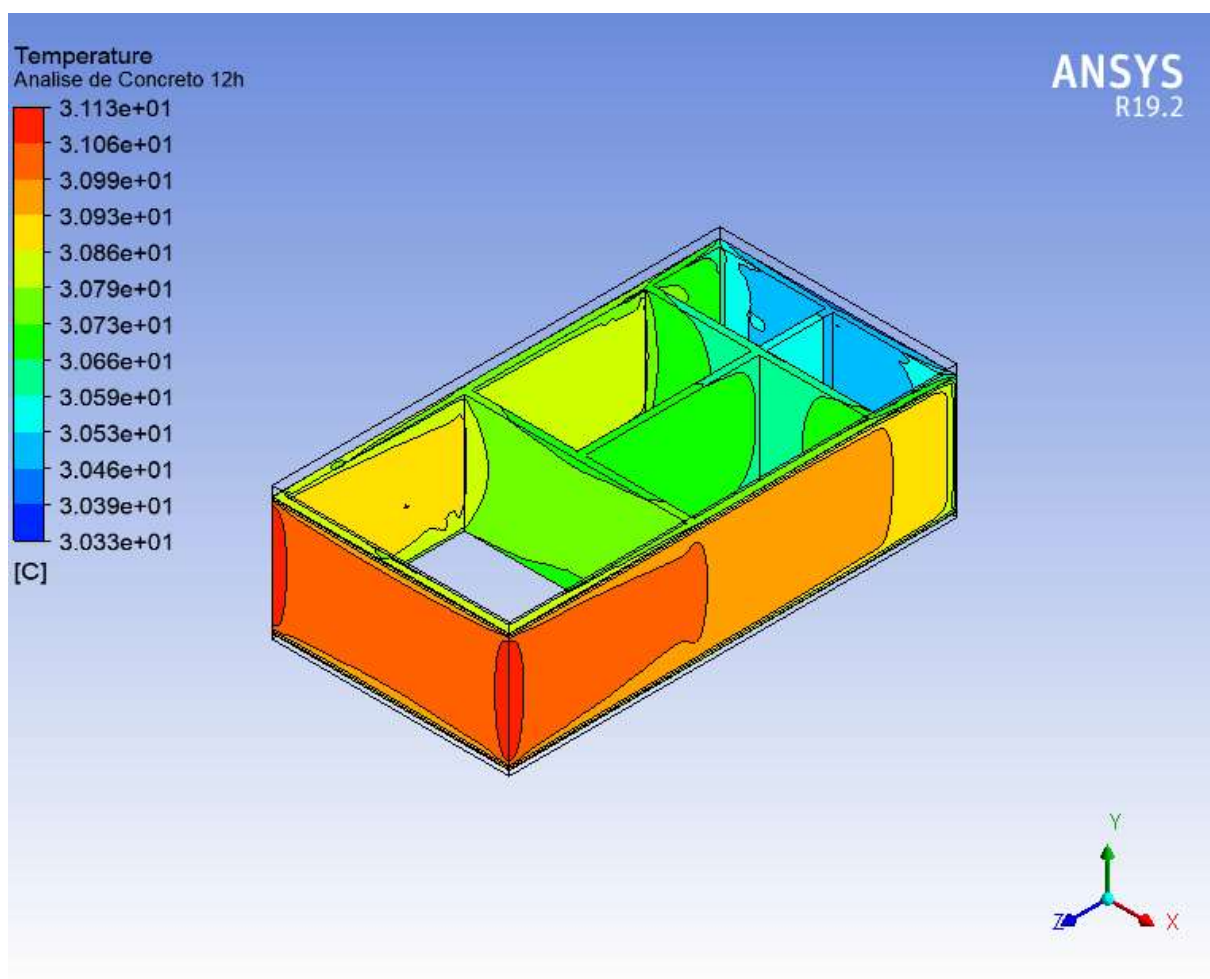
Figura 38 – Distribuição da temperatura na parede/caixa de ar nos blocos de concreto as 9:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

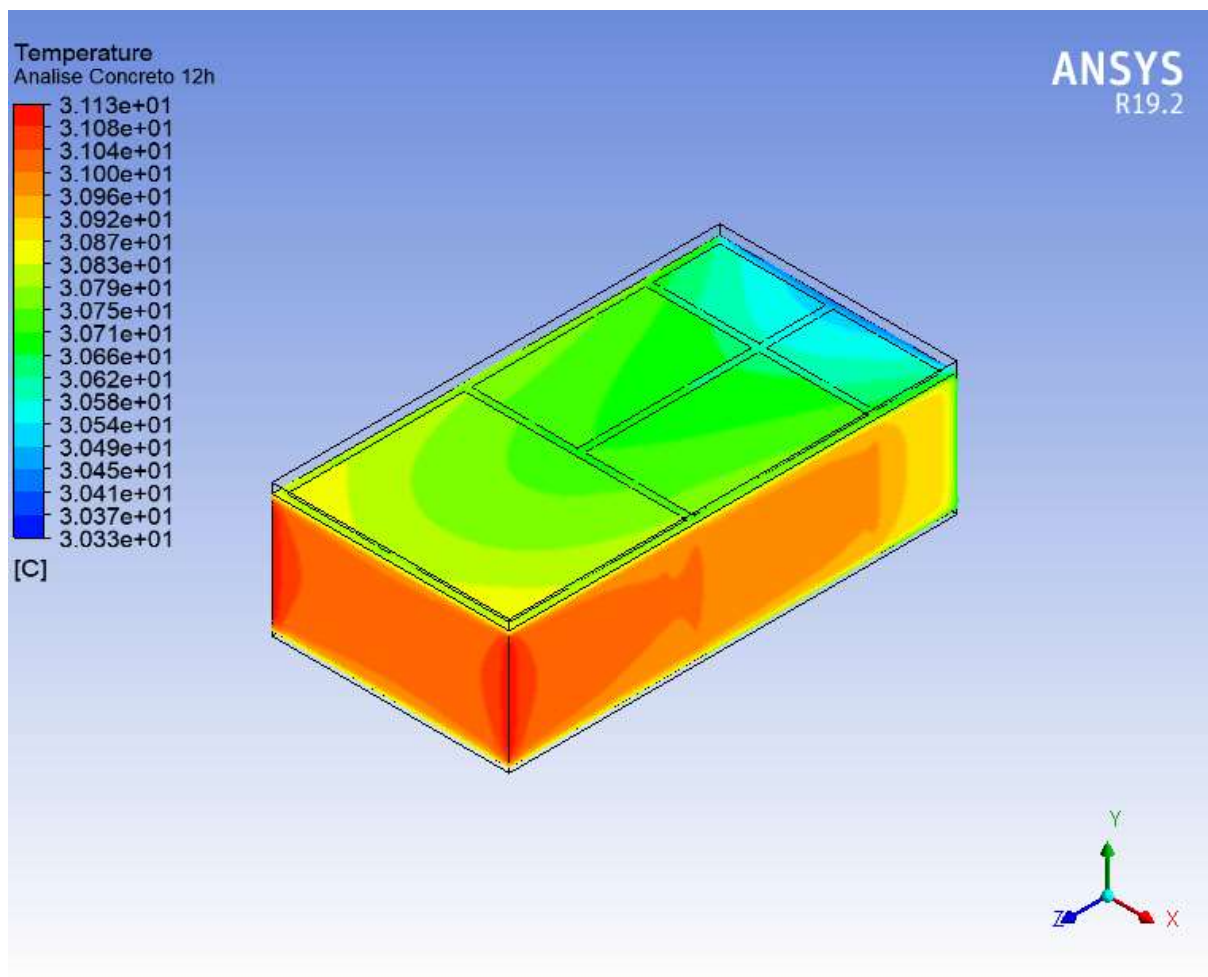
A segunda simulação ocorreu no horário de 12:00 e com temperatura inicial externa de 24,00°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 30,326°C até uma temperatura máxima de 31,127°C. A temperatura média da simulação foi de 30,7265°C. As figuras 39 e 40 contêm a distribuição da temperatura da parede e parede/caixa de ar na vista lateral, respectivamente.

Figura 39 – Distribuição da temperatura na parede nos blocos de concreto as 12:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

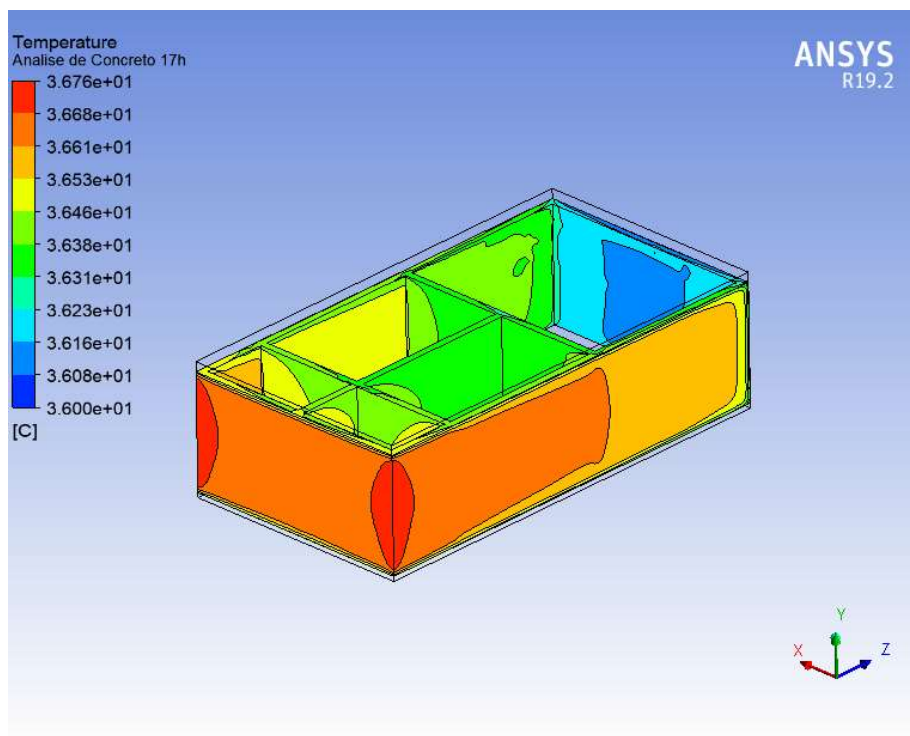
Figura 40 – Distribuição da temperatura na parede/caixa de ar nos blocos de concreto as 12:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

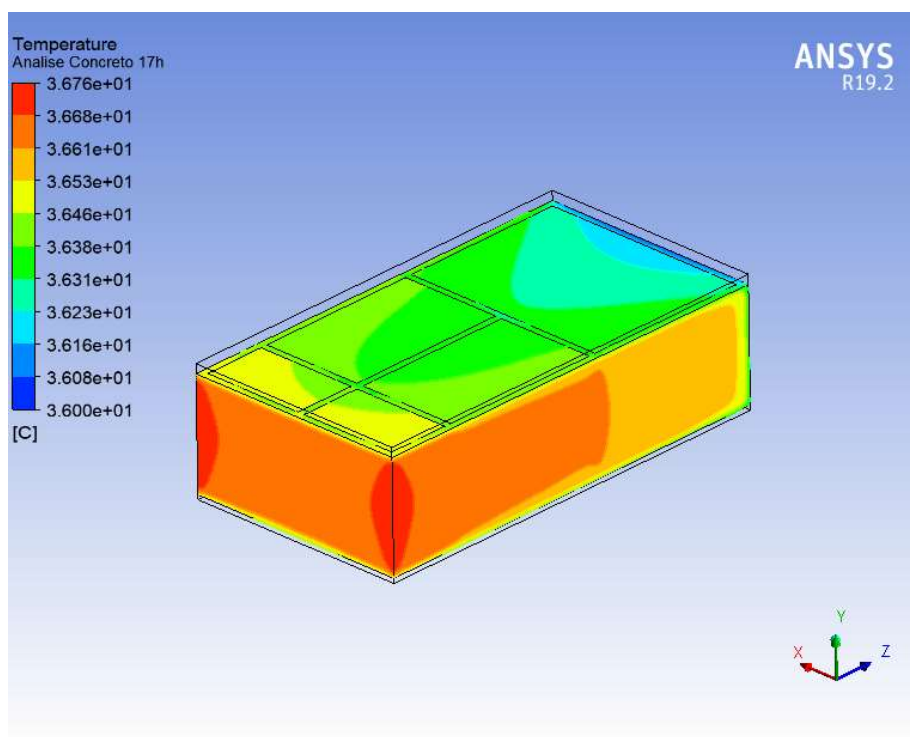
A terceira simulação ocorreu no horário de 17:00 e com temperatura inicial externa de 35,6667°C e teve uma variação interna com temperatura mínima de 36,004°C até uma temperatura máxima de 36,760°C. A temperatura média da simulação foi de 36,382°C. As figuras 41 e 42 contém a distribuição da temperatura da parede e parede/caixa de ar na vista lateral, respectivamente. A imagem foi invertida em relação as passadas para mostrar a região onde o sol atinge a parede.

Figura 41 – Distribuição da temperatura na parede nos blocos de concreto as 17:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

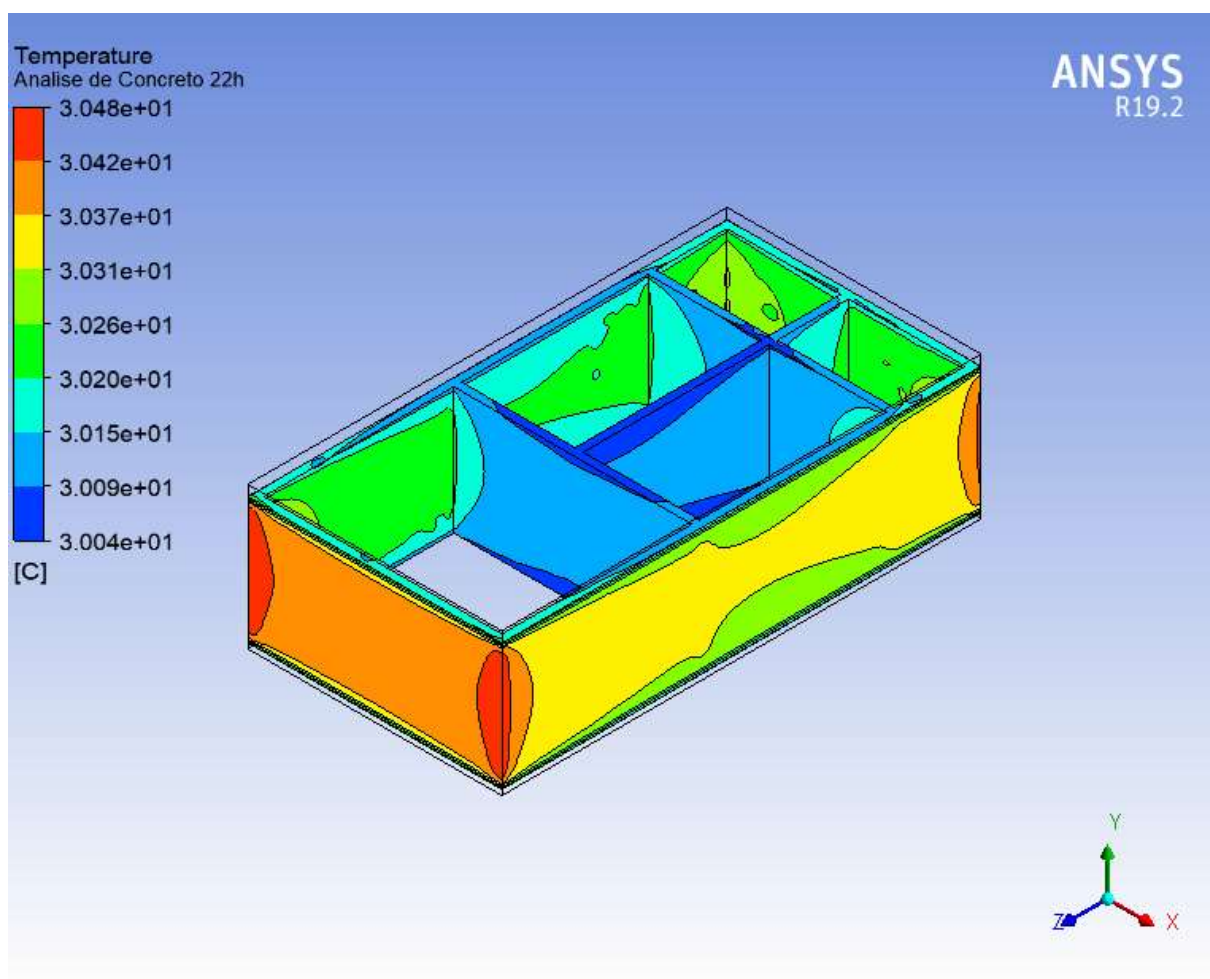
Figura 42 – Distribuição da temperatura na parede/caixa de ar nos blocos de concreto as 17:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

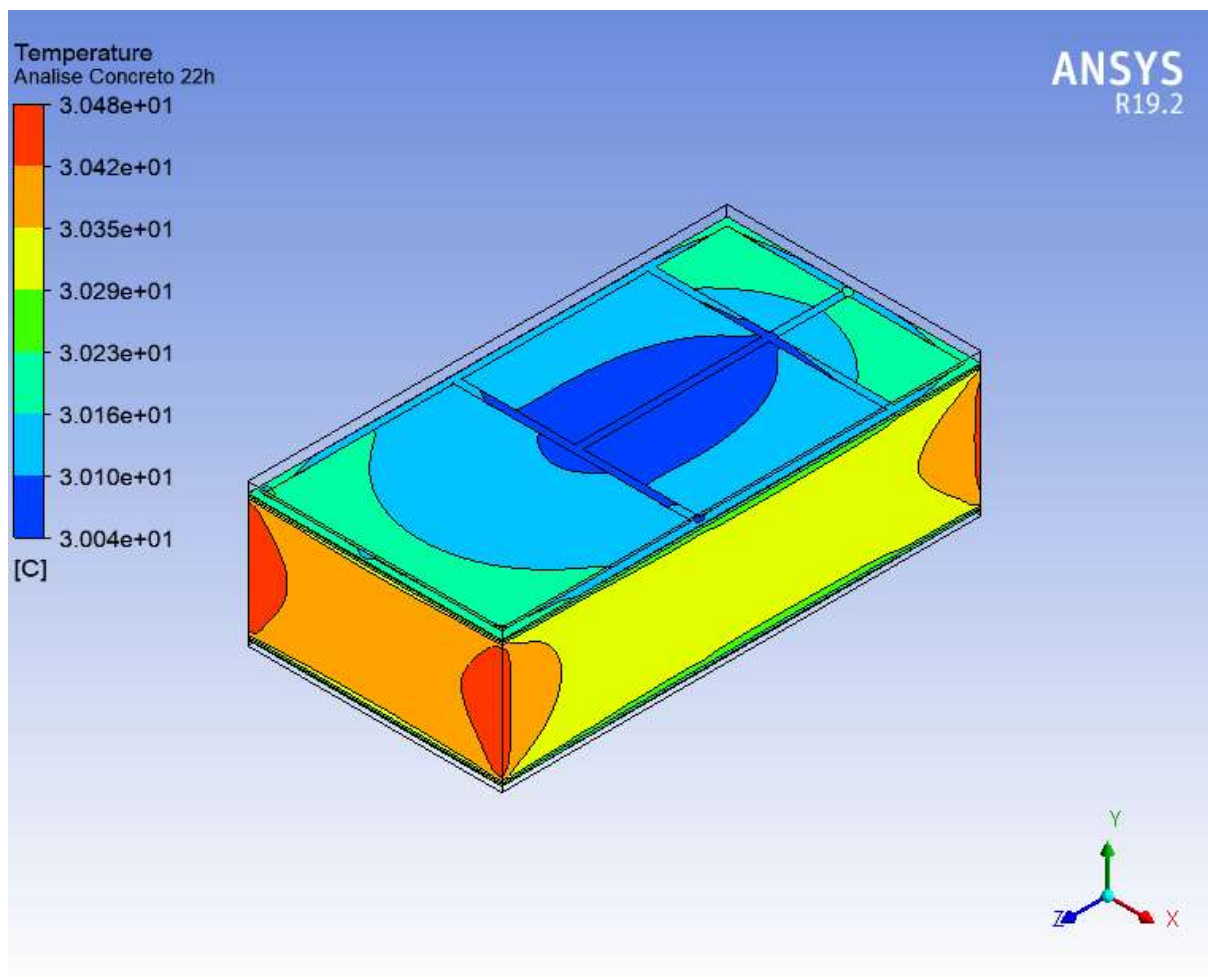
A quarta simulação ocorreu no horário de 22:00 e com temperatura inicial externa de $29,3333^{\circ}\text{C}$ e teve uma variação interna com temperatura mínima de $30,038^{\circ}\text{C}$ até uma temperatura máxima de $30,478^{\circ}\text{C}$. A temperatura média da simulação foi de $30,258^{\circ}\text{C}$. As figuras 43 e 44 contêm a distribuição da temperatura da parede e parede/caixa de ar na vista lateral, respectivamente.

Figura 43 – Distribuição da temperatura na parede nos blocos de concreto as 22:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

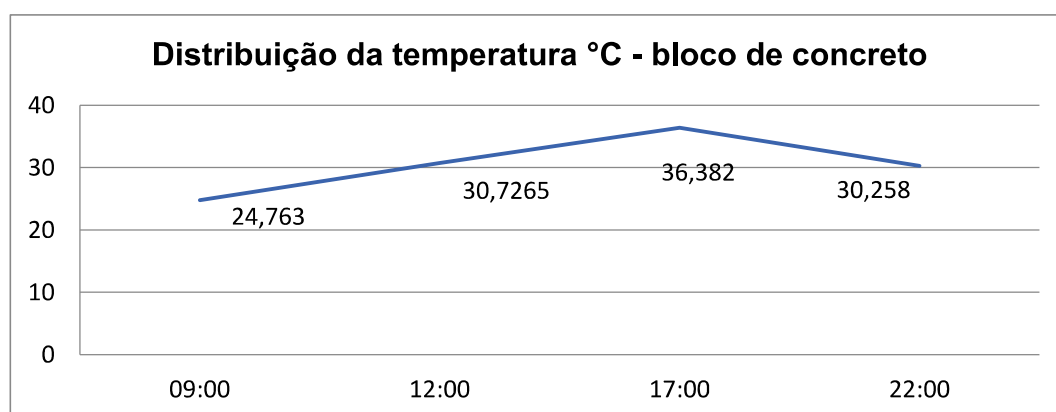
Figura 44 – Distribuição da temperatura na parede/caixa de ar nos blocos de concreto as 22:00 da parede da residência



Fonte: Própria (2020).

O gráfico 5, contém a distribuição da temperatura do protótipo de concreto ao longo das simulações.

Gráfico 5 – Distribuição da temperatura dos blocos de concreto na residência

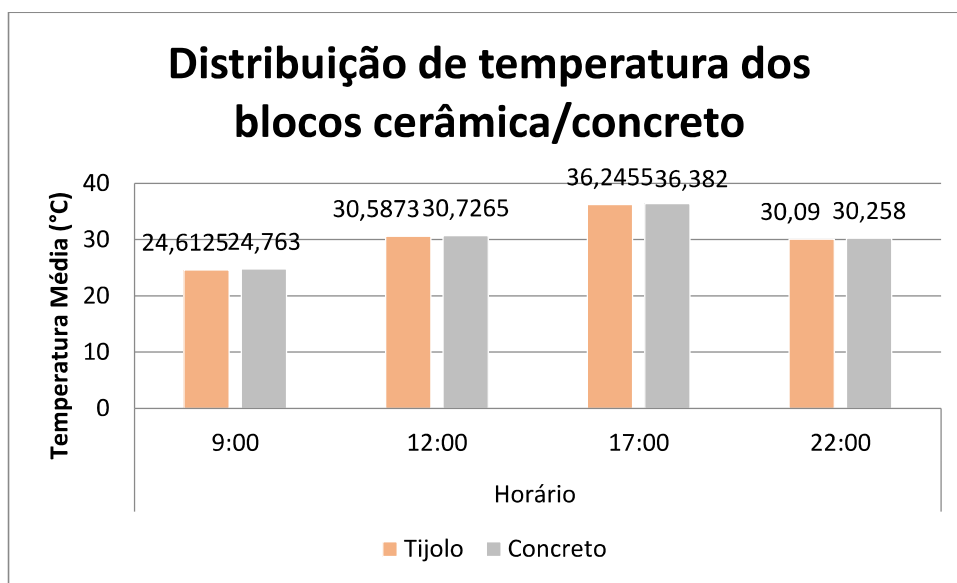


Fonte: Própria (2020).

3.2.3 Discursão etapa 2

O gráfico 6 contém a distribuição de temperatura do bloco de concreto e cerâmica ao longo das simulações.

Gráfico 6 – Distribuição da temperatura do bloco de cerâmica/concreto na residência



Fonte: Própria (2020).

Pela análise do gráfico 6, é possível identificar que o bloco de concreto e o bloco de cerâmica obtiveram resultados bem próximos, porém, a cerâmica se comportou com uma melhor qualidade de isolamento térmica em relação ao bloco de concreto ao longo de todas as simulações.

Nesse caso a utilização do bloco de cerâmico é mais viável por se tratar de uma residência onde a necessidade de reduzir o aumento da temperatura interna é maior. Além disso, com uma menor temperatura interna, ocorre a redução da necessidade de aparelhos de climatização com potências maiores e consequentemente ocorre a redução econômica para o projeto.

4 CONCLUSÃO

Na primeira etapa do trabalho foi observado que o bloco de cerâmica se comportou melhor durante os períodos da manhã e da tarde com temperaturas mais amenas em relação ao bloco de concreto, porém durante a simulação no horário da noite, o bloco de cerâmica apresentou temperaturas mais elevadas em relação ao bloco de concreto. Esse fato pode ser explicado por conta do bloco de cerâmica apresentar a condutibilidade térmica menor que a do concreto, com isso o bloco de cerâmica demora mais tempo para esfriar.

Nessa etapa do trabalho a geometria do protótipo foi derivado de um trabalho experimental e ao se comparar os resultados desse trabalho com as simulações térmicas foi constatado a divergência de até 11,94%, no qual pode ser considerado um valor válido para simulação. Os principais motivos para essa divergência é a qualidade da malha, as equações de transferência de calor utilizadas pelo software e algumas condições de contorno.

A análise dos resultados da segunda etapa do trabalho demonstra comportamento próximo aos resultados da primeira etapa. O bloco de cerâmica obteve temperaturas mais baixas em todos os horários simulados. No caso da última simulação, realizada no horário das 22:00h, o material de cerâmica teve tempo suficiente para o resfriamento e, portanto, não apresentou o mesmo resultado que na etapa 1 em que a simulação da noite ocorreu as 19:00h.

Em conclusão, esse trabalho pode ser utilizado como base para novas simulações, podendo avaliar diversos outros materiais e/ou outras condições de contorno com o intuito de determinar qual a melhor configuração conforme a necessidade do ambiente que irá ser projetado.

REFERÊNCIAS

ABNT 16401-2. **Instalações de Ar-Condicionado – Sistemas Centrais e Unitário**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.

ANSYS. **ANSYS Fluent**. 2019. Disponível em: <<https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

ASHRAE Standard 55. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning, 2004.

BARROSA, Marcelo Rosário da. **Princípios Fundamentais da Transferência de Calor**. São Paulo: Próprio, 2004. 48 p.

ÇENGEL, Y. A. **Heat transfer: a practical approach**. 2ed. McGraw-Hill, 2003, 932p.

DONOSO, José Pedro. **Calor, energia e transferência de calor**. São Carlos, 2005. 25 slides, color. Disponível em: <http://www.ifsc.usp.br/~donoso/fisica_arquitetura/Transferencia_de_Calor.pdf>. Acesso em: 20 set. 2019.

FIEGENBAUM, Ana Cristina. **Análise Comparativa de Isolamento Térmico Entre Painéis Pré-Moldados, Alvenaria de Vedação de Blocos de Concreto e Blocos Cerâmicos Para Fins de Conforto Térmico**. 2018. Tcc - Universidade do Vale do Taquari. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Lajeado, 2018.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

JUNQUEIRA, Ricardo Alves. **Simulação em Conforto Térmico**. 2018. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica, Guarapuava, 2018.

KUZMIN, Dmitri. **A Guide to Numerical Methods for Transport Equations**. Bavaria: Universidade Friedrich Alexander, 2010. Disponível em: <<http://www.mathematik.uni-dortmund.de/~kuzmin/Transport.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e Stress Térmico**. 2016. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Civil, Santa Catarina.

LEMO, Flávio; DALL'AGNOL, Renato. 2011. **Bloco cerâmico ou bloco de concreto**. Disponível em: < <https://www.webartigos.com/artigos/bloco-ceramico-ou-bloco-de-concreto/63588>>. Acesso em: 15 out. 2019.

MOREIRA, José R. Simões. **Processos de Transferência de Calor**. 2014. Notas de Aula. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

REHVA JOURNAL (Org.). **Conforto Térmico x Performance**. Disponível em: <<https://www.rehva.eu/rehva-journal>>. Acesso em: 24 set. 2019.

SOUSA, Ivone Conceição. **Simulação do escoamento de ar no do auditório da FEUP**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011

THOMAZ, Bianca; ISHIOKA, Leandro. **Isolamento Térmico**: Porto: Laboratório de Construção da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, 2010. 26 slides, color.

UGREEN. Estratégias Fundamentais Para o Conforto Térmico. Disponível em: <<https://www.ugreen.com.br/conforto-termico/>>. Acesso em: 24 set. 2019.

WIKIPEDIA (Org.). **Computational fluid dynamics**. 2019. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_fluid_dynamics>. Acesso em: 15 nov. 2019.

ANEXO A – CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DO PROTÓTIPO

CARACTERÍSTICAS DO PROTÓTIPO	DIMENSÕES EXTERNAS	ESPESSURA DO BLOCO	ESPESSURA DA LAJE	ESPESSURA DO CONTRA PISO
DIMENSÕES	1m x 1m x 1m	15 cm	8 cm	2 cm

Fonte: Fiegenbaum (2018).

ANEXO B – TEMPERATURAS INICIAIS

HORÁRIO DO DIA	TEMPERATURA EM °C
9:00	21,367
12:00	28,800
16:00	30,967
19:00	27,533

Fonte: Fiegenbaum (2018).

ANEXO C – RESULTADOS DO TRABALHO EXPERIMENTAL

MATERIAL	HORÁRIO	TEMPERATURA EM °C
CERÂMICO	9:00	22,333
CERÂMICO	12:00	27,500
CERÂMICO	16:00	29,733
CERÂMICO	19:30	30,367

CONCRETO	9:00	22,100
CONCRETO	12:30	28,067
CONCRETO	16:00	30,567
CONCRETO	19:00	30,733

Fonte: Fiegenbaum (2018)

**ANEXO D – TABELA DE PREVISÃO DE TEMPERATURA PARA O MÊS DE
OUTUBRO DE 2019 E FIGURA DO SITE DO INMET**

Dia do mês	Horário (h)	Temperatura em °C
15/10	9:00	24
15/10	12:00	30
15/10	17:00	37
15/10	22:00	26
16/10	9:00	23
16/10	12:00	29
16/10	17:00	35
16/10	22:00	30
17/10	9:00	25
17/10	12:00	31
17/10	17:00	35
17/10	22:00	32

Fonte: INMET (2019).



Fonte: INMET (2019).

ANEXO E – TRECHO DA NORMA NBR 16401-1 (2008)

PI	Teresina		Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s	
			5,05S	42,82W	69m	100,50	83/01		32,6	39,5	1,4	19,2	2,0	
Mês>Qt	Freq.	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq.	Aquec.	Umidificação		
Out	anual	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Mar	anual	TBS	TPO	w	TBSc
	0,4%	37,9	24,7	26,9	32,9	25,4	20,7	28,9		99,6%	21,8	15,2	10,9	33,2
ΔT_{md}	1%	37,2	24,6	26,9	32,7	25,1	20,4	28,8		99%	22,3	16,3	11,7	32,5
12,2	2%	36,8	24,6	26,4	32,5	24,9	20,2	28,6						

Fonte: NBR 16401-1 (2008).

ANEXO F – TABELA DE COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Superfície	Kcal / h.m ² . °C	W / m ² . K
Paredes de Alvenaria		
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=10 cm;	2,65651	3,08896
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=15 cm;	2,18781	2,54396
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=20 cm;	2,07401	2,41164
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=30 cm;	1,43132	1,66432
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=40 cm;	1,24301	1,44536
Tijolo de Barro comum, argamassa externo, gesso interno e=20 cm;	1,80471	2,0985
Tijolo de Barro comum, argamassa externo, gesso interno e=15 cm;	2,60018	3,02347
Bloco de concreto estrudado e=5,0 cm;	4,63558	5,39020
Tijolo de concreto, argamassa ambos os lados e=10 cm;	3,11671	3,62408
Tijolo de concreto, argamassa ambos os lados e=15 cm;	2,03295	2,36389
Tijolo de concreto, argamassa ambos os lados e=20 cm;	2,34433	2,72597
Tijolo de concreto, argamassa externa, gesso interno e=20 cm;	2,25759	2,62511
Tijolo cerâmico, argamassa ambos os lados e=10 cm;	3,15272	3,66598
Tijolo cerâmico, argamassa ambos os lados e=15 cm;	2,71588	3,15801
Tijolo cerâmico, argamassa ambos os lados e=20 cm;	2,32452	2,70292

Fonte: Valter Rubens Gerner (2012).