

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Tobias Fornasier Carraro**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE  
ARGAMASSAS COM PROPRIEDADES TÉRMICAS**

Porto Alegre  
junho 2015

**TOBIAS FORNASIER CARRARO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE  
ARGAMASSAS COM PROPRIEDADES TÉRMICAS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientadora: Ângela Borges Masuero**

Porto Alegre  
junho 2015

**TOBIAS FORNASIER CARRARO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE  
ARGAMASSAS COM PROPRIEDADES TÉRMICAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 30 junho de 2015

Profa. Ângela Borges Masuero  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientadora

Prof. Jean Marie Désir  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Ângela Borges Masuero (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Ariane Prevedello Rubin (UFRGS)**  
M. Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Natália dos Santos Petry (UFRGS)**  
M. Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, que sempre me apoiaram, especialmente durante o período de graduação.  
A minha namorada Ananda, ao Asimov e Huxley,  
que sempre estiveram ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Profa. Ângela Borges Masuero, orientadora deste trabalho, pelas diretrizes, ensinamentos e comprometimento dedicado para que este trabalho fosse realizado.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt, por ter dado o polimento necessário à finalização deste trabalho de conclusão.

Agradeço aos professores Paulo Otto Beyer e Luís Carlos Bonin, pela auxílio e instrução decisivos para a realização do trabalho.

Agradeço aos meus colegas da Cyrela Goldsztein, pela ajuda e parceria em todos os momentos.

Agradeço a minha namorada Ananda Scomazzon Troian, pelo apoio e compreensão durante o ano, de realização deste trabalho.

A frase mais empolgante de ouvir em ciência,  
a que prenuncia novas descobertas, não é “*Eureka!*”,  
mas sim “Isto é estranho...”.

*Isaac Asimov*

## RESUMO

A primeira Norma Brasileira de Desempenho publicada em 2008 pegou muitas empresas desprevenidas com tantas exigências rigorosas e inéditas até então, por introduzir conceitos de desempenho às edificações de até cinco pavimentos. Porém, em 2013 a NBR 15.575 foi revisada e a restrição dos cinco pavimentos foi removida, contemplando agora todo o tipo de edificação residencial. A maioria das empresas começaram a se preocupar com os quesitos de desempenho e a procurar por novas soluções que venham a garantir o desempenho mínimo requerido pela Norma. Aproveitando que o mercado estava carecendo de novas soluções, os fornecedores de materiais e componentes da indústria da construção civil começaram a criar produtos especificamente baseados na NBR 15.575:2013. A nova Norma favorece o uso de novos materiais, por não restringir a construção a uma determinada técnica construtiva, os requisitos de desempenho devem ser cumpridos independentemente do material que será utilizado na construção. Com isso o mercado da construção civil é incentivado a pesquisar e a inovar para suprir as exigências criadas pela Norma e, para manter-se competitivos. Um desses novos produtos são as argamassas com propriedades térmicas. Esse tipo de argamassa, tem suas propriedades térmicas aprimoradas com a troca – principalmente – do agregado por outro com propriedades específicas. Por se tratar de algo novo, até então, pouca pesquisa foi feita após o advento destes produtos no mercado. Este trabalho vem a contribuir para o aprimoramento tanto das argamassas quanto para seu uso. Na sequência do trabalho é apresentada uma breve descrição sobre inovação e argamassas em geral e resumidos os requisitos para o desempenho térmico nas Normas vigentes no país. Foram escolhidas e obtidos os parâmetros de três argamassas com propriedades térmicas além da argamassa convencional. Realizou-se uma simulação computacional de uma residência, para o tempo de 1 ano, e em seu dia típico de inverno e verão, para se obter o comportamento térmico dessas argamassas. Os resultados obtidos com a simulação demonstram que a troca da argamassa comum pelas com propriedades térmicas, não elevaram o nível de desempenho térmico da residência, segundo os critérios da Norma de Desempenho.

Palavras-chave: NBR 15.575.  
Norma de desempenho. Desempenho térmico.  
Argamassas térmicas. Simulação computacional.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho .....	17
Figura 2 – Relação entre preço e custo .....	20
Figura 3 – Fluxograma para avaliação do desempenho térmico .....	36
Figura 4 – Zonas bioclimáticas brasileiras .....	39
Figura 5 – Planta baixa da edificação modelo .....	42
Figura 6 - Divisão da residência em zonas térmicas .....	43
Figura 7 - Argamassa A, B e C.....	45
Figura 8 – Exemplo de seções de uma parede de tijolos .....	47
Figura 9 – Parede externa (a) e interna (b) criadas para a simulação computacional.....	52
Figura 10 – Modelagem da residência .....	56
Figura 11 – Temperatura de bulbo seco para a cidade de Porto Alegre .....	57
Figura 12 – Janela de edição do Energyplus .....	58
Figura 13 – Temperaturas do dia típico de inverno para argamassas de 25mm no cômodo sala .....	62
Figura 14 – Temperaturas do dia típico de inverno para argamassas de 30mm no cômodo sala .....	63
Figura 15 – Temperaturas do dia típico de inverno para argamassas de 40mm no cômodo sala .....	63
Figura 16 – Temperaturas do dia típico de verão para argamassas de 25mm no cômodo quarto2 .....	65
Figura 17 – Temperaturas do dia típico de verão para argamassas de 30mm no cômodo quarto2 .....	66
Figura 18 – Temperaturas do dia típico de verão para argamassas de 40mm no cômodo quarto2 .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do grão vs. propriedades da argamassa .....	26
Tabela 2– Propriedades ganhas com os aditivos .....	28
Tabela 3 – Espessuras recomendadas para revestimentos de argamassa .....	30
Tabela 4 – Transmitância térmica de paredes externas .....	37
Tabela 5 – Capacidade térmica das paredes externas .....	37
Tabela 6 – Critérios de desempenho térmico para condições de verão .....	40
Tabela 7 – Critérios de desempenho térmico para condições de inverno .....	40
Tabela 8– Propriedades dos materiais das paredes .....	44
Tabela 9 – Propriedades das paredes de vedação .....	45
Tabela 10 – Argamassas simuladas .....	45
Tabela 11 – Propriedades das argamassas simuladas .....	46
Tabela 12 – Propriedades das paredes externas .....	52
Tabela 13 – Propriedades das paredes internas .....	53
Tabela 14 – Propriedades da cobertura .....	54
Tabela 15 – Propriedades dos demais componentes .....	55
Tabela 16 – Propriedades dos dias típicos de verão e inverno .....	57
Tabela 17 – Média mensal da temperatura do solo a 50cm de profundidade, em °C .....	58
Tabela 18 – Temperaturas média, máxima e mínima para a simulação anual .....	60
Tabela 19 – Temp. máx., mín. e méd. para o dia típico de inverno .....	61
Tabela 20 – Temp. máx., mín. e méd. para o dia típico de verão .....	64

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

BLAST – *Building Loads Analysis and System Thermodynamics*

BNH – Banco Nacional da Habitação

DOE – *Department of Energy*

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ISO – *International Organization for Standardization*

Labeee – Laboratório de Eficiência Energéticas em Edificações

NBR – Norma Brasileira

PUCPr – Pontifícia Universidade Católica do Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A$  – área ( $m^2$ )

$c$  – calor específico ( $kJ/(kg.K)$ )

$C_T$  – capacidade térmica ( $kJ/m^2.K$ )

$e$  – espessura ( $mm$ ) ou ( $m$ )

$F_{So}$  – fator solar de elementos opacos (%)

$R$  – resistência térmica ( $(m^2.K)/W$ )

$T_{e_{máx.}}$  – valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação ( $^{\circ}C$ )

$T_{e_{mín.}}$  – valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação ( $^{\circ}C$ )

$T_{i_{máx.}}$  – valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação ( $^{\circ}C$ )

$T_{i_{mín.}}$  – valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação ( $^{\circ}C$ )

$U$  – transmitância térmica ( $Watts/m^2.K$ )

$\alpha$  – absortância a radiação solar

$\lambda$  – condutividade térmica ( $W/(m.K)$ )

$\rho$  – densidade ( $kg/m^3$ )

$\phi$  – atraso térmico ( $h$ )

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	15
2.2 OBJETIVO DA PESQUISA .....	15
<b>2.3 HIPÓTESE</b> .....	15
2.4 PRESSUPOSTO .....	15
2.5 PREMISA .....	16
2.6 DELIMITAÇÕES .....	16
2.7 LIMITAÇÕES .....	16
2.8 DELINEAMENTO .....	16
<b>3 INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	19
<b>4 ARGAMASSA</b> .....	23
4.1 COMPONENTES DAS ARGAMASSAS .....	23
<b>4.1.1 Cimento</b> .....	24
<b>4.1.2 Cal</b> .....	24
<b>4.1.3 Água</b> .....	25
<b>4.1.4 Agregado</b> .....	26
4.1.4.1 Areia .....	26
4.1.4.2 Vermiculita.....	26
4.1.4.3 Micaxisto.....	27
4.1.4.4 Perlita.....	27
<b>4.1.5 Aditivos Químicos</b> .....	27
4.2 REVESTIMENTO DE ARGAMASSA .....	28
<b>5 NORMA DE DESEMPENHO</b> .....	31
5.1 DESEMPENHO TÉRMICO .....	34
<b>5.1.1 Critérios de desempenho térmico</b> .....	35
5.1.1.1 Procedimento simplificado .....	36
5.1.1.2 Procedimento de simulação computacional .....	37
5.1.1.3 Procedimento via medição in loco .....	41
<b>6 SIMULAÇÃO TÉRMICA</b> .....	42
6.1 EDIFICAÇÃO MODELO.....	42
6.2 MATERIAIS.....	44
<b>6.2.1 Parede de tijolos</b> .....	44

<b>6.2.2 Argamassas de revestimento.....</b>	<b>45</b>
<b>6.2.3 Demais materiais.....</b>	<b>46</b>
6.3 COMPONENTES.....	46
<b>6.3.1 Metodologia de cálculo.....</b>	<b>47</b>
<b>6.3.2 Paredes.....</b>	<b>51</b>
<b>6.3.3 Cobertura.....</b>	<b>54</b>
<b>6.3.4 Demais componentes.....</b>	<b>54</b>
6.4 ENERGYPLUS.....	55
6.5 ARQUIVO CLIMÁTICO.....	56
6.6 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	58
6.7 RESULTADOS.....	59
<b>6.7.1 Simulação anual.....</b>	<b>59</b>
<b>6.7.2 Dias típicos.....</b>	<b>60</b>
6.8 CONCLUSÕES.....	67
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>69</b>
REFERÊNCIAS .....	70
APÊNDICE A.....	76
APÊNDICE B.....	80
ANEXO A .....	84
ANEXO B .....	86
ANEXO C .....	88



## 1 INTRODUÇÃO

Antes de ter sua revisão final publicada, em 19 de julho de 2013, a Norma NBR 15.575:2013, Edificações Habitacionais – Desempenho, já vinha sendo chamada de a Norma-Mãe da construção habitacional brasileira. Ela precede todas as outras normas vigentes (ZIGMANTAS, 2005) ditando níveis de desempenho mínimos para os sistemas construtivos de uma habitação, independente do tipo de material ou sistema construtivo que será utilizado. As técnicas construtivas e materiais que já são normalizados devem obedecer simultaneamente a Norma de Desempenho e as Normas específicas para os mesmos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c).

A NBR 15.575:2013 veio privilegiar principalmente os consumidores pois ela “[...] irá ao encontro do que procuram na hora de adquirir seu imóvel, já que buscam conforto [térmico, acústico e lumínico], estabilidade, vida útil adequada da edificação, segurança estrutural e contra incêndios.” (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 9).

Segundo da Fundação Getúlio Vargas, o déficit habitacional<sup>1</sup> brasileiro estimado para 2014 foi de cinco milhões de domicílios (PORTAL BRASIL, 2015), quantidade esta que está em queda impulsionada principalmente pelo programa habitacional Minha Casa Minha Vida que entregou mais de 1.5 milhões de unidades, desde o seu lançamento (LIMA, 2012), porém, o atendimento da necessidade de moradia ainda é um desafio a ser superado.

Uma das maneiras de suprir este déficit e atender a Norma de Desempenho vem da pesquisa em inovação dos materiais e técnicas construtivas adotadas atualmente. A inovação pode representar uma vantagem competitiva para a empresa que a produz, fator crucial em um cenário econômico cada vez mais competitivo. A prática de inovar compreende a “[...] redução de custos de produção, aumento da qualidade dos produtos ou serviços ou mesmo através da

---

<sup>1</sup> O déficit habitacional é calculado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2013b, p. 1) como “[...] quando há pelo menos uma de quatro situações: domicílios precários (rústicos ou improvisados); situação de coabitação (famílias conviventes com intenção de se mudar ou residentes em cômodos); domicílios cujo valor do aluguel é superior a 30% da renda domiciliar total (excedente de aluguel); e domicílios alugados com mais de três habitantes utilizando o mesmo cômodo (adensamento excessivo).”

indução de novos mercados através da oferta de produtos diferenciados [...]” (MARTINS, 2004, p. 2).

Um desses produtos diferenciados, que estão surgindo no mercado, são as argamassas com propriedades térmicas. Elas buscam melhorar uma das qualidades de desempenho exigidas atualmente pela Norma em um produto de uso corrente na construção civil, obtendo um desempenho térmico final otimizado comparado ao dos materiais ditos tradicionais.

Este trabalho tem como objetivo ilustrar a importância da inovação na construção civil frente à nova Norma de Desempenho, no quesito desempenho térmico de uma edificação. Assim, apresentará quais os parâmetros necessários para uma pessoa estar em conforto térmico em sua residência, além de simular e comparar diretamente o desempenho térmico das argamassas tradicionais com as novas, que possuem propriedades térmicas melhoradas.

## 2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### 2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: conhecidas as características das argamassas com propriedades térmicas estudadas, que ganho se tem no desempenho térmico em uma unidade habitacional comparativamente ao uso das argamassas tradicionais?

### 2.2 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo principal do trabalho é comparar o desempenho térmico de argamassas com propriedades térmicas frente as tradicionais, por meio de uma simulação computacional.

### 2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que com a utilização das argamassas com propriedades térmicas, há uma melhora no desempenho térmico, subindo pelo menos um nível de desempenho na classificação estabelecida pela NBR 15.575:2013, na simulação computacional, em uma unidade habitacional.

### 2.4 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que:

- a) os valores das propriedades térmicas dos materiais de construção encontrados na NBR 15.220-2:2005 são considerados válidos para utilizá-los na simulação computacional;
- b) os coeficientes e as propriedades das argamassas fornecidas pelos fabricantes são válidas e representam corretamente as argamassas estudadas;
- c) o programa de simulação computacional resulta em dados higrotérmicos muito próximos aos que aconteceriam em uma unidade habitacional real, com as mesmas condições de contorno.

## 2.5 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que muitas construtoras não sabem se o seu sistema construtivo atende ao mínimo exigido pela NBR 15.575:2013, referente ao desempenho térmico de uma edificação e, portanto, soluções devem ser testadas para que os desempenhos dessas sejam conhecidos.

## 2.6 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a simulação computacional das propriedades térmicas em uma edificação habitacional na cidade de Porto Alegre – RS, com e sem o uso de argamassa com propriedades térmicas.

## 2.7 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) a simulação computacional simulará somente o comportamento térmico de um tipo de residência, em somente uma cidade brasileira,
- b) serão simulados os dias dia típico de verão e de inverno da cidade de Porto Alegre, além de, uma simulação anual utilizando o *software* EnergyPlus;
- c) as paredes de vedação serão compostas de tijolos cerâmicos vazados, com argamassa com propriedades térmicas aplicadas internamente na espessura de 20mm e, externamente, com espessuras variando entre 25mm, 30mm e 40mm.

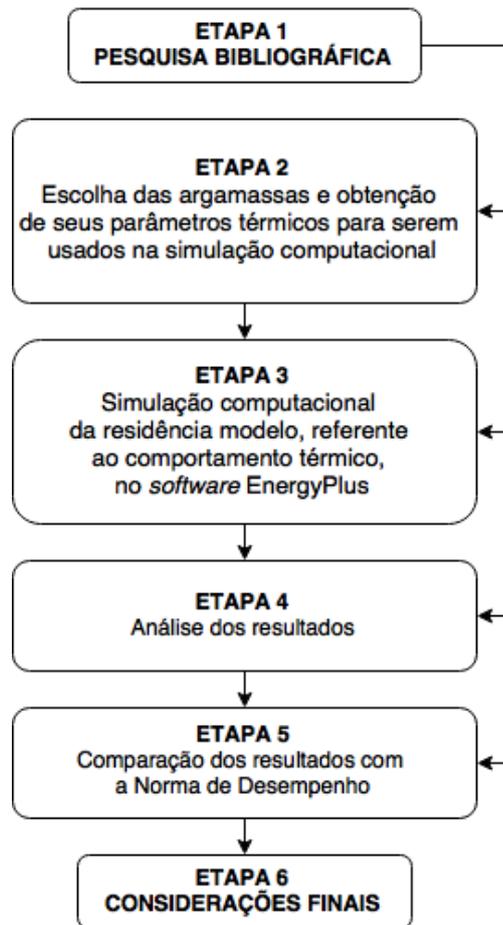
## 2.8 DELINEAMENTO

O trabalho foi desenvolvido seguindo o fluxograma representado pela figura 1, com a descrição de cada etapa do trabalho representada abaixo:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) escolha das argamassas e obtenção de seus parâmetros térmicos para serem usados na simulação computacional;
- c) simulação computacional da residência modelo, referente ao comportamento térmico, no *software* EnergyPlus.
- d) análise dos resultados;
- e) comparação dos resultados com a Norma de Desempenho;

f) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho



(fonte: elaborado pelo autor)

A pesquisa bibliográfica, foi a base do trabalho e esteve presente em todas as etapas executadas. Por ser um assunto com pouca bibliografia disponível, foram utilizadas como base a Norma de Desempenho e as normas referentes às questões térmicas e, a partir delas, pesquisados os assuntos específicos nas bibliografias, trabalhos e publicações existentes.

Como o trabalho pretende analisar o desempenho térmico em sistemas de revestimentos, foi feito um levantamento das argamassas com propriedades térmicas nacionais e internacionais disponíveis, para obter os dados relevantes à simulação. Após definidas as argamassas e obtidas suas características, foi rodada a simulação computacional da unidade habitacional, para cada tipo de argamassa escolhida, além da convencional e, analisados os dados obtidos.

Em seguida ao processamento e análise dos resultados da etapa anterior, foi realizada a comparação das temperaturas internas e externas resultantes com os critérios da Norma de Desempenho, para avaliar qual o nível de desempenho térmico que a argamassa proporcionou a habitação. E realizadas as considerações finais.

### 3 INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O déficit habitacional brasileiro no ano de 2013 foi de 5,24 milhões de domicílios absolutos (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2013a). Uma grande parcela desse total é composta pela população de baixa renda, que vive em habitações precárias ou em moradias improvisadas. Em 2009, houve a criação do maior programa habitacional, em nível nacional, chamado Minha Casa, Minha Vida (AGUIAR, 2014), financiado pela Caixa Econômica Federal. O programa busca atender principalmente as famílias com renda mensal bruta de até R\$ 1.600,00, das quais não teriam acesso a moradia sem a ajuda do governo, subsidiando em torno de 95% do valor total do imóvel (PORTAL BRASIL, 2012).

A maior parte dos contratos para a construção das habitações do programa Minha Casa, Minha Vida são feitos por meio de licitação, do tipo menor preço. Esta modalidade de licitação, onde o fator principal é o baixo custo, está conduzindo a construção de moradias com inúmeros vícios e manifestações patológicas (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2012). Apesar de, a Caixa Econômica Federal liberar as parcelas do financiamento para as construtoras a cada etapa concluída, há casos em que os empreendimentos foram entregues sem portas internas, louças sanitárias ou passagem da fiação elétrica, além de, sérios problemas acústicos entre unidades autônomas (MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL EM MINAS GERAIS, 2013), fissuras, infiltrações e vazamento de gás (VILLANOVA, 2014). Mas este não é um problema exclusivo do setor público, no setor privado também são vistos inúmeros casos devido ao mercado estar muito competitivo, obrigando as empresas a construir cada vez mais com um custo menor.

Frente a todas estas informações e, acrescentando que em 2013 entrou em vigor a nova Norma de Desempenho, a NBR 15.575:2013, as construtoras estão tendo uma importante tarefa para se adaptarem a esta nova fase da construção habitacional brasileira. Os novos critérios de desempenho serão válidos tanto para moradias populares como também para empreendimentos de alto padrão. Como as Normas Técnicas não tem poderes de lei, é através do Código de Defesa do Consumidor (Lei 8.078/1990) que o comprador tem seus direitos assegurados, pois apesar do cumprimento das normas da ABNT serem de caráter voluntário, em uma disputa judicial é provável que o Estado imponha sanções legais ao construtor caso haja o descumprimento de alguma diretriz apontada na Norma (MONTEIRO FILHA et al., [2010]).

Estima-se que, devido a Norma de Desempenho, o acréscimo no custo total dos empreendimentos seja em torno de 5 a 7% (PINIWEB, 2013). Esse custo extra poderá não ser repassado integralmente para os consumidores pois, analisando as relações de preço e custo propostas por Souza et al. (1995, p. 1), verifica-se que a “[...] antiga equação em que o preço do produto era o resultado do custo de produção acrescido do lucro que se pretendia, dá lugar a uma nova expressão em que o lucro é o resultado do preço definido pelo mercado, subtraídos os custos de produção [...]”, como demonstrado na figura 2.

Figura 2 – Relação entre preço e custo

$$\begin{aligned} \text{PREÇO} &= \text{CUSTOS} + \text{LUCRO} \\ \text{LUCRO} &= \text{PREÇO DE MERCADO} - \text{CUSTOS} \end{aligned}$$

(fonte: SOUZA et al., 1995, p. 2)

Essa relação, evidencia que o consumidor atual não aceita pagar a mais por um produto para que ele tenha o desempenho mínimo exigido. Logo, as empresas devem reduzir seus custos sem perder a qualidade de seus produtos. Hoje é fácil perceber que as empresas estão buscando incluir conceitos de qualidade em suas práticas, como a pesquisa de satisfação do cliente pós-ocupação como parâmetro de avaliação do desempenho e validação de projetos (JOBIM, 2010).

Como os empreendimentos do programa Minha Casa, Minha Vida são compostos por um grande número de imóveis e o fator decisivo para a licitação é o menor preço, conclui-se que para viabilizar e ampliar economicamente este tipo de empreendimento, é necessário a implementação de novos processos construtivos que propiciem a redução do custo e tempo de produção (MONTEIRO FILHA et al., [2010]).

Conseqüentemente, uma das soluções que a indústria da construção civil deve buscar é a da inovação tecnológica. A inovação em produtos é uma das estratégias que as empresas possuem para se manterem em um mercado altamente competitivo, onde qualquer característica que se destacada pode ser um sinal de vantagem econômica (SILOCCHI, 2002). Na mesma linha de raciocínio Schmidt (2012) defende que o uso do conhecimento aplicado ao sistema produtivo possibilita a criação de inovações tecnológicas, das quais geram uma enorme vantagem para a empresa que o desenvolve.

A palavra inovação tem origem do latim e “[...] significa tornar novo, renovar e traduz-se pelo ato de inovar [...]” (SCHMIDT, 2012, p. 16), já tecnologia “[...] tem origem no grego ‘*tekhne*’

que significa ‘técnica, arte, ofício’ juntamente com o sufixo ‘logia’ que significa ‘estudo’.” (GUIMARÃES; CABRAL, 2014, não paginado).

Distanciando-se do latim e do grego antigo, uma definição mais contemporânea para inovação, é descrita por Audy ([2006], p. 37) como “[...] um processo estratégico do qual fazem parte busca, descoberta, experimentação, desenvolvimento e adoção de novos produtos, processos ou técnicas capazes de agregar valor em um determinado contexto em que se aplica.”. Já a palavra tecnologia é definida por Longo<sup>2</sup> (1984 apud. SABBATINI, 1989, p. 42) como “[...] o conjunto organizado de todos os conhecimentos – científicos, empíricos ou intuitivos, empregados na produção e comercialização de bens e serviços.”.

Com a união dessas duas palavras, temos a criação do termo inovação tecnológica, que é definido por Sabbatini (1989, p. 45) como:

Um novo produto, método processo ou sistema construtivo introduzido no mercado, constitui-se em uma INOVAÇÃO TECNOLÓGICA na construção de edifícios quando incorporar uma nova ideia e representar um sensível avanço na tecnologia existente em termo de: desempenho, qualidade ou custo do edifício, ou de uma sua parte.

Na fase de desenvolvimento de novas tecnologias, temos que diferenciar a criação da inovação tecnológica. Para a tecnologia ser considerado uma inovação ela tem a obrigatoriedade de atingir a fase final de consumo, sem esta característica a inovação não passa de mera imaginação (SABBATINI, 1989).

A maioria das invenções são feitas pelos fornecedores de materiais e componentes da indústria da construção civil, ficando a cargo das construtoras a utilização ou não das inovações propostas. Segundo Martins (2004), os fornecedores atuam de modo ativo na implantação de novas tecnologias no processo produtivo das construtoras e, estas mantêm uma postura conservadora devido a experiências desastrosas acontecidas na implementação de tecnologias ainda não suficientemente desenvolvidas ou não adaptadas ao padrão nacional. Isso levou a grandes prejuízos econômicos tanto para o construtor quanto para o fornecedor de materiais de construção (GONÇALVES et al., 2003). Ponto de vista defendido também por Sabbatini (1989) que comenta sobre a importação de tecnologias estrangeiras sem a devida adequação ao local

---

<sup>2</sup> LONGO, W.P. **Tecnologia e Soberania Nacional**. São Paulo, Nobel/Promocet, 1984.

ou a criação de novas tecnologias do dia para noite sem metodologia ou base científica, é uma postura inconsequente e que prejudica a evolução do setor.

No Brasil, foi na época do milagre econômico, na década de 70, que começaram a surgir novos sistemas construtivos para a substituição dos modelos tradicionais. Foi no início dos anos 80, depois que aconteceram as experiências negativas na implantação das inovações tecnológicas na construção civil, que surgiu a necessidade de avaliá-las tecnicamente (GONÇALVES et al., 2003). Essa tarefa foi assumida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, contratado pelo Banco Nacional da Habitação – BNH que investiu em estudo e pesquisa, para elaborar critérios de avaliação de sistemas construtivos inovadores (BORGES, 2008), baseados no conceito de desempenho.

As normas e critérios de desempenhos andam juntas com as inovações tecnológicas. São com elas que as empresas asseguram a qualidade de seus novos produtos, pois a natureza não prescritiva dos critérios de desempenho favorece a evolução do processo de construção de edificações por não fixar a avaliação em um determinado produto e sim, em um determinado requisito de desempenho. Consequentemente, não há limitação de soluções técnicas para um dado problema, o que estimula o desenvolvimento de inovações tecnológicas. Além disso, possibilita a comparação de desempenho entre diferentes métodos construtivos facilitando na escolha final de forma racional e tecnicamente aceitável (SABBATINI, 1982).

## 4 ARGAMASSA

A argamassa é um dos materiais mais utilizados na construção de edifícios. Das 38 milhões de toneladas de cimento produzidas no Brasil, em 1998, 40% desse total foram utilizados na produção de argamassas (MARTINS NETO; DJANIKIAN, 1999).

O seu uso é tão antigo, que remonta a Roma antiga, por volta de 2000 a.C, onde os romanos utilizavam a pozolana, um material rochoso de origem vulcânica, encontrado perto do monte Vesúvio, adicionada de cal, para obter uma pasta que endurecia após ser misturada com água (NETTO, 2006). Esta, tinha como principal função a de fazer a ligação dos elementos de vedação das casas e prédios públicos, entre eles, o Coliseu de Roma (FAPESP, 2000), que encontra-se, em parte, ainda erguido. Com a popularização do cimento tipo Portland, a maioria das misturas de argamassas passaram a adotá-lo em sua composição, devido a sua resistência mecânica superior aos dos demais aglomerantes.

A NBR 13.281:2005 define argamassa como “[...] mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a, p. 2). É um dos materiais mais versátil encontrado em obras de edificação, e usado em quase todas as etapas de construção: nos contrapisos, no assentamento de blocos de vedação, nos revestimentos de paredes, nas pontes de aderência (chapisco), no assentamento de cerâmicas ou azulejos, no rejuntamento, entre outras.

### 4.1 COMPONENTES DAS ARGAMASSAS

Como visto anteriormente, as argamassas são empregadas em várias etapas construtivas, em substratos específicos com solicitações mecânicas diferentes. A escolha certa do tipo de argamassa que será empregada é um ponto importante para prevenção de futuros problemas patológicos, pois “[...] o adequado desempenho das argamassas depende fundamentalmente da correta escolha dos materiais e de seu proporcionamento na mistura, cujas operações são denominadas dosagem [...]” (LARA et al., 1995, p. 63). Esses mesmos autores afirmam, que é importante buscar matérias primas que atendam as especificações apropriadas para o uso no

estado endurecido, não esquecendo das suas propriedades no estado fresco e na do momento de aplicação.

A quantidade de cada componente na dosagem da argamassa é chamada de traço. Cada traço é criado para um uso específico, por exemplo, o traço 1:2:9, em volume, de cimento:cal:areia, é utilizado em revestimentos (ALMEIDA et al., 1995).

A seguir será feita uma breve descrição dos principais componentes utilizados na produção das argamassas, tanto industrializada como a produzida em obra.

#### **4.1.1 Cimento**

Apesar de não ser o único existente, o cimento tipo Portland é o mais utilizado na construção civil brasileira. Ele é considerado um aglomerante hidráulico, pois necessita de água para que ocorram as reações de hidratação que promovem o seu endurecimento (BAUER; SOUSA, 2005), (SZLAK et al., [2002]).

A principal característica fornecida pelo cimento na argamassa é a de resistência mecânica (compressão, tração, abrasão e, principalmente resistência de aderência a tração). Deve-se cuidar com a quantidade de cimento na dosagem; pois, adicionando mais cimento a mistura, a resistência mecânica e a aderência à base aumentam, por outro lado, a tendência de surgirem fissuras devido à retração também crescem (BAUER; SOUSA, 2005). Segundo Lara et al. (1995), esse limite ocorre quase que inevitavelmente em traços com consumo superiores a 350 kg/m<sup>3</sup> de cimento.

#### **4.1.2 Cal**

Diferente do cimento, que ativa sua propriedade aglomerante com água, a cal utiliza o gás carbônico presente no ar para o processo de carbonatação, por isso é considerada um aglomerante aéreo. A quantidade de CO<sub>2</sub> e de óxidos não hidratados no produto final definem a classificação da cal em: CH-I, CH-II ou CH-III, (BAUER; SOUSA, 2005).

Na argamassa, a cal pode ser usada tanto isolada como em conjunto com o cimento, argamassa mista. Isoladamente, em um traço de até 1:4, em volume, de cal:agregados, confere um

comportamento final com boa trabalhabilidade, quando usada em revestimentos (LARA et al., 1995).

Sua maior utilização é nas argamassas mistas de cimento e cal. A cal possui propriedades benéficas tanto para o cimento quanto para a argamassa em seu estado fresco. Devido a finura de seus grãos a água tende a ficar retida em volta das partículas proporcionando uma hidratação prolongada ao cimento, evitando assim fissuras por retração (SZLAK et al., [2002]). Além de, melhorar a trabalhabilidade no estado fresco devido “[...] ao estado de coesão interna que a cal proporciona, em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão as partículas de agregado.” (CINCOTTO et al.<sup>3</sup>, 1995, apud BAUER; SOUSA, 2005, p. 32).

O uso misto é bem consagrado pois, procura-se “[...] conciliar as vantagens de ambos os materiais: a aderência e o endurecimento inicial são providos principalmente pelo cimento e, a trabalhabilidade, retenção de água, bem como a extensão de aderência são incrementados pelo uso da cal.” (BAUER; SOUSA, 2005, p. 33).

### 4.1.3 Água

A água serve principalmente para promover as reações de hidratação do cimento. Deve-se atentar para a sua potabilidade, não sendo indicado o uso da água quando apresentar contaminantes ou sais solúveis (SZLAK et al., [2002]) entretanto, ensaios de qualidade podem permitir o seu uso na mistura (LARA et al., 1995).

A quantidade de água a ser adicionada à argamassa deve ser aquela informada pelo seu fabricante, podendo, às vezes, ser acrescentada ou diminuída em pequenas quantidades pelo pedreiro, para ajustar consistência da mistura até obter a trabalhabilidade desejada, tendo o cuidado de não ultrapassar o limite de 380 l/m<sup>3</sup> em argamassas não aditivadas e de 330 l/m<sup>3</sup> nas aditivadas (SZLAK et al., [2002]).

---

<sup>3</sup> CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A.; CARASEK, H. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. **Publicação IPT**, São Paulo, n. 2378, 1995. Não foi disponibilizado o número de páginas.

#### 4.1.4 Agregado

O agregado presente nas argamassas, tem participação direta nas propriedades de retração, resistência mecânica e módulo de deformação (BAUER; SOUSA, 2005), o que o torna parte importante da mistura.

A seguir, serão caracterizados alguns agregados utilizados nas argamassas em estudo.

##### 4.1.4.1 Areia

O agregado miúdo (diâmetros máximo de 4.8mm) mais utilizado é a areia, o principal método de classificação delas é, segundo Bauer et al. (2005), a análise granulométrica. Esta análise é importante pois a distribuição granulométrica dos grãos de agregados tem influência direta na trabalhabilidade, produtividade, textura e acabamento final das argamassas (LARA et al., 1995).

A obtenção de areia pode ser feita em diversas fontes, como: rios, cavas ou britagem (SZLAK et al., [2002]). Cada local possuirá um grão com formato e tamanho diferente, o que deverá ser levado em consideração pois, caso haja um excesso de finos, por exemplo, ocorrerá maior consumo de água de amassamento para o ajuste da trabalhabilidade, conseqüentemente, reduzindo a resistência mecânica. A tabela 1 mostra a relação das características do grão com as propriedades da argamassa.

Tabela 1 – Características do grão vs. propriedades da argamassa

Propriedade	Quanto mais fino	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
<b>Trabalhabilidade</b>	Melhor	Pior	Pior
<b>Retenção de água</b>	Melhor	–	Melhor
<b>Retração na secagem</b>	Aumenta	Aumenta	–
<b>Porosidade</b>	–	Aumenta	–
<b>Aderência</b>	Pior	Pior	Melhor
<b>Resistencia mecânica</b>	–	Pior	–
<b>Impermeabilidade</b>	Pior	Pior	–

(fonte: SZLAK et al., [2002], p. 6CON)

##### 4.1.4.2 Vermiculita

O mineral micáceo chamado vermiculita é definido pela NBR 9.230:1986 como um “[...] agregado mineral, incombustível, de estrutura lamelar trifórmica, que exposto a um choque

térmico, apresenta uma expansão ortogonal, passando a ter um aspecto semelhante ao de uma sanfona aberta [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986, p. 1), chamando-a assim de: vermiculita expandida. Ela é usada no lugar da areia para a obtenção de argamassas com propriedades de isolamento térmico e acústico, devido ao aprisionamento de ar dentro de cada floco, após passar pelo choque térmico.

Os traços recomendado por um dos fabricantes nacionais de vermiculita expandida é o de 1:5 e 1:4, em volume, de cimento:vermiculita, para o isolamento termoacústico de paredes e contrapisos, respectivamente (VERMICULITA ISOLANTES, 2014).

#### *4.1.4.3 Micaxisto*

O micaxisto é um agregado proveniente da transformação ocorrida em rochas metamórficas. É constituída principalmente de quartzo e mica, apresentando-se na forma foliada com elevado grau de xistosidade (PORTO, 2015). É utilizado como agregados em argamassas, pela qualidade em isolamento térmico, além de servir também para o uso em fertilizantes agrícolas, cosméticos, entre outros.

#### *4.1.4.4 Perlita*

A perlita é uma rocha de origem vulcânica, que possui a propriedade física de se expandir, em até 20 vezes, quando submetida a temperaturas entre 800-1200°C, devido a partículas de água aprisionadas em seu interior que evaporam formando inúmeras bolhas de ar. Por conta dessa expansão, adquire uma densidade baixa e a qualidade de isolante térmico e acústico. Ela possui uma coloração esbranquiçada, e é usada na construção civil, horticulturas, vidros, plásticos, resinas, entre outros (SANTOS, 2011).

### **4.1.5 Aditivos Químicos**

Aditivos são adicionados na mistura quando se quer potencializar uma ou mais características desejadas nas argamassas, tanto no estado fresco como no estado endurecido, o que, às vezes, não é possível obter com os componentes disponíveis (SZLAK et al., [2002]).

A quantidade a ser dosada, quando se faz a mistura da argamassa em obra, deve seguir a orientação do fabricante. Igualmente, pode-se também trabalhar com dosagens experimentais, fazendo os ajustes necessários para obter o melhor desempenho com os agregados e traços

adotados em cada obra (LARA et al., 1995). A vantagem das argamassas industrializadas, que utilizam aditivos em sua composição, é que a dosagem é otimizada para a aplicação a que se destina e com quantidades exatas, obtendo uma variabilidade pequena entre lotes de fabricação.

Existem vários tipos de aditivos no mercado, e seu uso dependerá da propriedade que se quer melhorar na mistura da argamassa. Na tabela 2 está exposto um resumo de cada tipo de aditivo e das qualidades incorporadas à argamassa.

Tabela 2– Propriedades ganhas com os aditivos

<b>Tipo de Aditivo</b>	
<b>Redutores de água (plastificantes)</b>	São utilizados para melhorar a trabalhabilidade da argamassa sem alterar a quantidade de água.
<b>Retentores de água</b>	Reduzem a evaporação e a exsudação de água da argamassa fresca e conferem capacidade de retenção de água frente à sucção por bases absorventes.
<b>Incorporadores de ar</b>	Formam microbolhas de ar, estáveis, homogeneamente distribuídas na argamassa, aumentando a trabalhabilidade e atuando a favor da permeabilidade.
<b>Retardadores de pega</b>	Retardam a hidratação do cimento, proporcionando um tempo maior de utilização.
<b>Aumentadores de aderência</b>	Proporcionam a aderência química ao substrato.
<b>Hidrofugantes</b>	Reduzem a absorção de água da argamassa, mas não a tornam impermeável e permitem a passagem de vapor d'água.

(fonte: SZLAK et al., [2002], p. 7CON)

## 4.2 REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

Os revestimentos de argamassa executados em paredes e tetos, são alguns dos sistemas mais utilizados na construção civil. Eles apresentam uma parcela significativa no custo total da obra, cerca de 5%, se somados todos os revestimentos e contrapisos (SILVA et al., 2001).

Revestimento de argamassa é definido pela NBR 13.529:2013 como sendo o “[...] cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final, decorativo ou não [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 1). Segundo Baía e Sabbatini (2002), tanto o revestimento interno quanto o externo têm as funções de:

- a) proteger os elementos de vedação dos edifícios da ação direta dos agentes agressivos;
- b) auxiliar as vedações no cumprimento das suas funções, como, por exemplo, estanqueidade a água e aos gases;

- c) regularizar a superfície dos elementos de vedação, servindo de base regular e adequada ao recebimento de outros revestimentos ou constituir-se no acabamento final;
- d) contribuir para a estética da fachada.

Segundo Bauer e Sousa (2005), não se pode falar do revestimento unicamente, mas sim do sistema de revestimento em conjunto com o substrato. Os mesmos autores, afirmam que, a textura do substrato (rugosidade) é uma característica importante para o desenvolvimento da aderência, na criação pontos de ancoragem para a argamassa.

Um dos sistemas mais utilizados na região de Porto Alegre é o de camada única, composto pelo chapisco seguido pela massa única. O chapisco serve como ponte de ancoragem para fazer a ligação entre o substrato (blocos cerâmicos ou elementos de concreto) e a camada de revestimento, é executado com um traço composto por areia grossa e forte energia de aplicação na hora da execução. A camada única, é a camada mais grossa e é utilizada para regularizar e dar acabamento à superfície para receber o revestimento cerâmico ou pintura.

Devido aos inúmeros problemas patológicos que podem existir durante a vida útil do revestimento, vários autores chamam a atenção para a criação de projetos de revestimento. Segundo Baía e Sabatini (2002), o projeto de revestimentos deve conter:

- a) tipo de revestimento (número de camadas);
- b) tipo de argamassa;
- c) espessura das camadas;
- d) detalhes arquitetônicos e construtivos;
- e) técnicas mais adequadas para a execução;
- f) padrão de qualidade dos serviços.

Deve-se atentar a espessura das camadas aplicadas nos revestimentos, a NBR 13.749:2013 define uma espessura ideal para os revestimentos tanto internos quanto externos, apresentados na tabela 3. Tomando o cuidado, quando for necessário empregar uma espessura maior nas camadas, da necessidade de adotar soluções que garantam aderência à camada posterior (BAÍA; SABBATINI, 2002), por exemplo, a utilização de telas de estuque.

Tabela 3 – Espessuras recomendadas para revestimentos de argamassa

<b>Revestimento</b>	<b>Espessura (e) mm</b>
Parede Interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos	$e \leq 20$

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b , p. 2)

## 5 NORMA DE DESEMPENHO

Os conceitos de desempenho foram introduzidos no Brasil por volta dos anos 80, por meio do trabalho desenvolvido pelo IPT, contratado pelo Banco Nacional da Habitação, para criar um conjunto de critérios brasileiros para a avaliação da construção habitacional (AKUTSU; YAMAZOE, 2005). Historicamente, a preocupação com o desempenho das habitações já vinha sendo utilizada em 1780 a.C., na antiga Mesopotâmia, como lei no Código de Hamurabi que dizia: “Se um construtor construir uma casa para um homem, e não construí-lo corretamente, e a casa que ele construiu cair e matar seu dono, então esse construtor deverá ser condenado à morte.” (HORNE, 2014, tradução nossa). Borges (2008) comenta que o artigo do código não especifica prescritivamente como a casa deve ser construída, com que materiais ou técnicas, mas define, qualitativamente, que o resultado final que deve ser atingido que é o da casa não entrar em colapso.

Voltando ao Brasil, a preocupação com critérios de desempenho começou a ser discutida nos anos 70, com a introdução de novas tecnologias construtivas no mercado nacional. Muitas destas novas técnicas mostraram-se desastrosas no momento de sua aplicação, tanto para o consumidor, que comprou um produto com desempenho inferior, quanto para o construtor, que teve que arcar com os custos de reparo. Conseqüentemente, na década de 1980, o Banco Nacional da Habitação, que era o grande financiador da construção habitacional, hoje extinto, contratou o IPT para criar um acervo técnico para a avaliação de desempenho de sistemas construtivos inovadores (AKUTSU; YAMAZOE, 2005; ZIGMANTAS, 2005).

O primeiro conjunto de critérios brasileiros para avaliação do desempenho de sistemas foram publicados no ano de 1982, largamente aplicados durante as décadas de 80 e 90 no país, para a avaliação da aptidão de novos produtos para a construção civil (AKUTSU; YAMAZOE, 2005). A partir de 1986 a Caixa Econômica Federal substituiu o Banco Nacional da Habitação nos financiamentos imobiliários. Nesta década também se viu a maior crise em investimentos habitacionais no país (ZIGMANTAS, 2005). Zigmantas (2005) comenta que, como se construiu pouco nessa época, ganhou força o princípio que o consumidor brasileiro era pouco exigente comparado aos estrangeiros, sendo assim surgiu a necessidade de redefinir os critérios de

desempenho. Tarefa assumida pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil da ABNT, de onde surgiu a primeira versão da norma de desempenho, a NBR 15.575:2008.

O grande desafio desta normalização é a “[...] tradução das necessidades dos usuários em requisitos e critérios que possam ser mensurados de maneira objetiva, dentro de determinadas condições de exposição e uso, e que sejam viáveis técnica e economicamente dentro da realidade de cada [país] [...]” (BORGES, 2008, p. 41). A palavra desempenho é definida por Gonçalves et al. (2003, p. 45) como o “[...] comportamento em uso do produto, caracterizando-se o fato de que este deve apresentar certas propriedades para cumprir a função proposta quando sujeito a determinadas influências ou ações durante a sua vida útil.”. Assim, conclui os mesmos autores, que avaliar o desempenho é definir as condições, qualitativas ou prescritivas, que devem ser satisfeitas quanto submetido as condições normais de uso.

A Norma de Desempenho que está em vigor, a NBR 15.575:2013, foi a revisão da norma de 2008. Além de retirar a restrição de avaliar habitações de até 5 pavimentos, a nova Norma apresentou “[...] avanços significativos tanto na qualificação e aprimoramento de seu conteúdo, quanto no envolvimento e resolução consensual dos agentes interessados e na adequação à realidade do país [...]” (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 12). Tanto a primeira Norma como a sua revisão, tiveram sua base nos critérios de desempenho estabelecidos pela ISO 6241:1984<sup>4</sup>, que listou os “[...] requisitos funcionais dos usuários de imóveis. O objetivo desta Norma foi o de auxiliar os países signatários da ISO na elaboração de normas de desempenho, e servir como guia para a seleção dos requisitos em desempenho de edifícios, que de forma resumida estão listadas no anexo A.

Prolongou-se por mais de dois anos até que em 19 de julho de 2013 a revisão da Norma de 2008 foi publicada em seis partes (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013), das quais englobam:

- a) parte 1: requisitos gerais;
- b) parte 2: estrutura;
- c) parte 3: sistemas de piso;
- d) parte 4: vedações verticais;
- e) parte 5: coberturas;

---

<sup>4</sup> INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6241**: performance standards in building — principles for their preparation and factors to be considered. Geneva, 1984.

f) parte 6: sistemas hidrossanitários.

A NBR 15.575:2013 segue as bases ditadas pela ISO 6241<sup>5</sup>, que apesar de ter sido lançada há mais de 25 anos, mostra-se bem dinâmica atualmente. Em cada parte da Norma são encontrados requisitos que foram organizadas (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 20):

[...] percorrendo uma sequência de exigências relativas 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, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental).

São estabelecidos três patamares de desempenho para os critérios encontrados na Norma. O desempenho Mínimo (M), que deve ser obrigatoriamente atingido, representando o as necessidades básicas de saúde, higiene e economia. Também são especificados os níveis Intermediário (I) e o Superior (S), dos quais elevam o nível da edificação além do mínimo exigido, servindo como base de comparação entre sistemas ou elementos construtivos, além de ser um critério de valorização do imóvel. Alguns pontos ficaram de fora desta versão na Norma, como o uso de condicionadores de ar, gás combustível, telecomunicações, elevadores, segurança e automação predial.

Apesar disso, caracterizar o desempenho desejado é muito difícil pois as necessidades dos usuários são subjetivas e podem variar conforme a “[...] atividade no interior do imóvel, quantidade de mobília, tipo de vestimentas, número de ocupantes, idade, sexo e condições fisiológicas e psicológicas dos usuários [...]” (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 136). Tudo isso pode mudar a satisfação ou insatisfação da pessoa no ambiente. Para isso a abordagem de desempenho é aceita como a probabilidade de que o nível de desempenho satisfaça uma parte dos usuários em uma parte do tempo (BORGES, 2008).

Como o presente trabalho visa estabelecer o nível de desempenho térmico de uma edificação, segundo a Norma de Desempenho será, brevemente, descrito a seguir as necessidades e exigências dos usuários para estarem em conforto térmico numa edificação.

---

<sup>5</sup> INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6241**: performance standards in building – principles for their preparation and factors to be considered. Geneva, 1984.

## 5.1 DESEMPENHO TÉRMICO

O desempenho térmico de uma edificação é uma característica importante pois, além de repercutir no conforto direto das pessoas no ambiente, como nas atividades diárias ou no sono, também é considerado nas questões energéticas uma vez que, diminui a necessidade do uso de condicionadores de ar (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013).

Em cidades como a de Porto Alegre – RS, com estações do ano muito pronunciadas, o uso de sistemas de aquecimento e refrigeração torna-se comum nos dias críticos. Já em cidades com elevada latitude ou posicionadas próximas a linha do equador o uso de climatização todo o ano é comum, portanto o desempenho serve principalmente para contribuir com a diminuição do consumo energético. Normas internacionais, em países com inverno rigoroso, contemplam em sua regulamentação o uso de condicionadores de ar, já a NBR 15.575:2013 não os utilizam em seus métodos (VITTORINO, 2005).

Como são inúmeras variáveis que controlam a sensação térmica, muitas delas foram deixadas de fora do cálculo da Norma, como “[...] umidade relativa, a velocidade do ar, a temperatura radiante media, a taxa metabólica, assimetrias de temperatura radiantes [...]” (VITTORINO, 2005, p. 11), o tipo de atividade desenvolvida no recinto, a quantidade de pessoas, idade, sexo, tipo de vestimenta (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013), eletrodomésticos, fontes de calor, entre outras, para não tornar o cálculo extremamente complexo.

O desempenho térmico está intimamente ligado ao conforto térmico, do qual é tomado como uma sensação humana. Ele é subjetivo e dependente de inúmeras variáveis como o metabolismo, vestimentas, idade, peso, sexo, velocidade do vento, umidade relativa do ar, entre outros. Visa estabelecer as condições necessárias para se obter um ambiente térmico condizente com a atividade e a ocupação humana que irá receber. O estudo do conforto térmico procura desenvolver métodos e princípios dos quais avaliam o ambiente, baseando-se em fatores como: a satisfação do homem; a performance em atividades intelectuais, manuais e perceptivas; e a conservação de energia, evitando desperdícios desnecessários. Para a análise do conforto térmico há vários métodos, dentro dos quais destaca-se o modelo de Fanger, que utiliza o voto médio estimado em uma equação para obter a sensação térmica de um indivíduo (LAMBERTS et al., 2014).

Segundo a NBR 15.575:2013 há três maneiras de avaliar o desempenho térmico de uma edificação (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 138-139):

- a) Procedimento 1 A – Simplificado (normativo): presta-se a verificar o atendimento aos requisitos e critérios para o envelopamento da obra, com base na transmitância térmica<sup>6</sup> (U) e capacidade térmica<sup>7</sup> (CT) das paredes de fachada e das coberturas.
- b) Procedimento 1 B – Simulação por *software* Energy Plus (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 15.575, o desempenho térmico global da edificação deve ser avaliado por simulação computacional [...].
- c) Procedimento 2 – Medição in loco [informativo] [...]: prevê a verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na NBR 15.575 por meio da realização de medições em edificações existentes ou protótipos construídos com essa finalidade. Tem caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos nos itens a) e b) anteriores, conforme disposto na Diretiva 2:2011 da ABNT.

### 5.1.1 Critérios de desempenho térmico

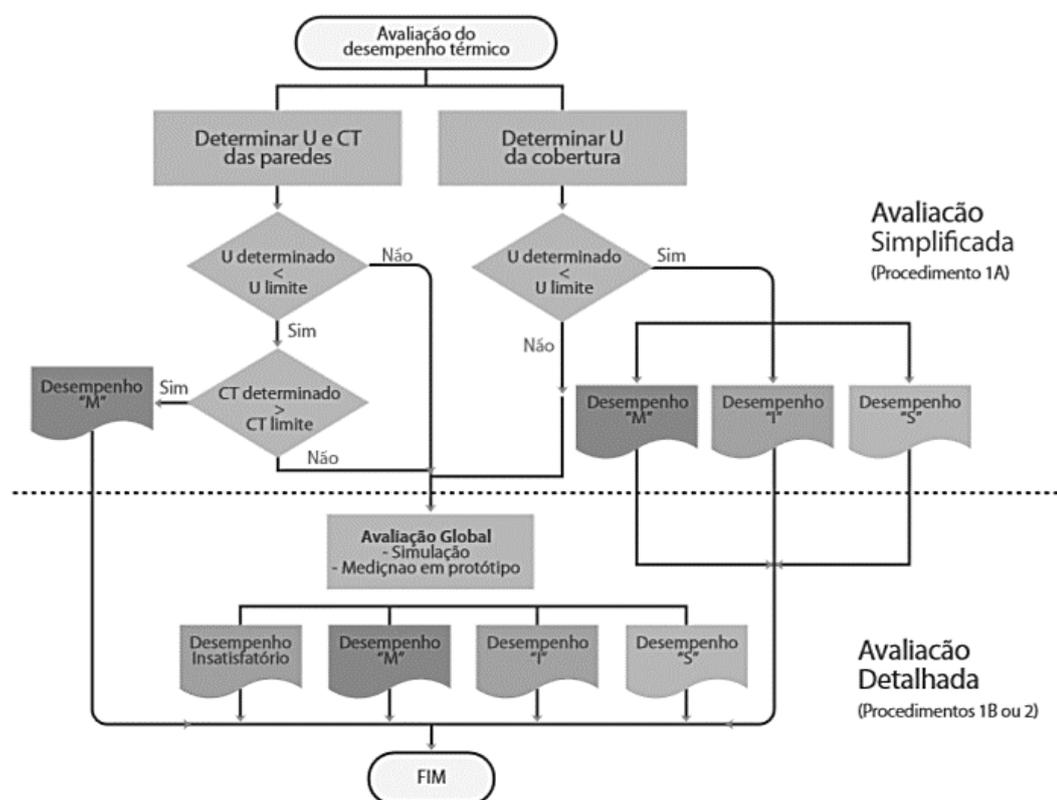
A Norma de Desempenho toma como base técnica para medir o desempenho da edificação os cálculos estabelecidos pela NBR 15.220-2:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). O roteiro de avaliação apresentado acima e esquematizado na figura 3, guia o projetista para a escolha adequada do sistema construtivo.

---

<sup>6</sup> Transmitância térmica é definida como o “[...] fluxo de calor que atravessa a área unitária de um componente ou elemento quando existe um gradiente térmico de 1K entre suas faces opostas, sendo o fluxo expresso em Watts/m<sup>2</sup>.K. Inverso da resistência térmica.” (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 138).

<sup>7</sup> Capacidade térmica é definida como a “[...] quantidade de calor por área unitária necessária para variar em uma unidade a temperatura de um componente ou elemento. Expressa em kJ/m<sup>2</sup>.K.” (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 138).

Figura 3 – Fluxograma para avaliação do desempenho térmico



(fonte: CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 139)

#### 5.1.1.1 Procedimento simplificado

Este procedimento calcula o envelopamento da edificação, onde contemplam as paredes externas e a cobertura. Para as paredes externas, a NBR 15.575-4:2013 – requisitos mínimos para os sistemas de vedações verticais internas e externas, estabelece que elas devem ter um valor máximo admissível de transmitância térmica (U), e valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013d), apresentado nas tabela 4 e 5. Caso haja a necessidade de se avaliar os níveis intermediário e superior, a simulação computacional é necessária, conforme figura 3.

Os procedimentos e roteiro de cálculo destes parâmetros são apresentados na NBR 15.220-2:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b).

Tabela 4 – Transmitância térmica de paredes externas

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

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

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013d, p 27)

Tabela 5 – Capacidade térmica das paredes externas

<b>Capacidade térmica (CT) kJ/m<sup>2</sup>.k</b>	
<b>Zonas 1 a 7</b>	<b>Zona 8</b>
$\geq 130$	Sem requisito

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013d, p. 27)

Nas paredes onde serão instalados “[...] materiais isolantes térmicos de condutividade térmica menor ou igual a 0,065 W/(m.K) e resistência térmica maior que 0,5 (m<sup>2</sup>.k)/W, o cálculo da capacidade térmica deve ser feito desprezando-se todos os materiais voltados para o ambiente externo [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013d, p. 27). Caso o cálculo do envelopamento da edificação possua um resultado insatisfatório, para paredes ou coberturas, deverá ser realizado, obrigatoriamente, a análise do ambiente por meio de simulação computacional.

#### 5.1.1.2 Procedimento de simulação computacional

A Norma 15.575-1:2013 estabelece critérios específicos para o caso de a simulação ser via programas computacionais. Inicialmente ela separa as habitações térreas, das de multipiso, estabelecendo que nas térreas devem ser simuladas residências com o maior número de paredes expostas e, nas de multipiso, residências no último andar ou coberturas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c).

A simulação deve ser executada para todos os ambientes da unidade habitacional e unidades vizinhas, devido a interação térmica entre elas, as temperaturas que deverão ser comparadas é a dos recintos de permanência prolongada, como salas e quartos.

Quando a edificação está ainda em fase de projeto, e não há como saber a posição solar das fachadas, são adotadas condições críticas de verão e inverno estabelecidas pela

NBR 15.575-1:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 24)

como:

- a) verão: janela do dormitório ou da sala de estar voltada para o oeste e outra parede exposta voltada para o norte. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para o oeste;
- b) inverno: janela do dormitório ou da sala de estar voltada para o sul e outra parede exposta voltada para o leste. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para o sul;
- c) obstrução no entorno: considerar que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas [...];
- d) obstrução por elementos construtivos previstos na edificação: dispositivos de sombreamento (por exemplo, para-sóis, marquises, beirais) devem ser considerados na simulação.

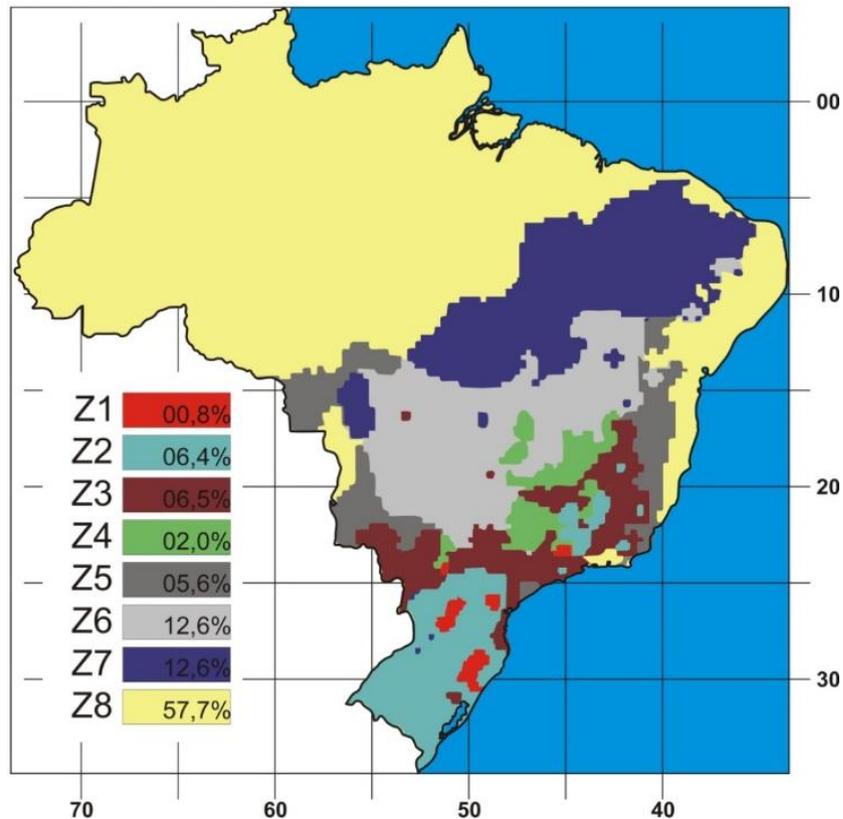
Além disso é estabelecida uma taxa de 1 ren/hr<sup>8</sup> nos cômodos e cobertura. A absorvância à radiação solar depende da cor que a fachada receberá, caso ainda não esteja definida utilizar o valor específico para o material da cobertura e, para a fachada recomenda-se utilizar  $\alpha = 0,3, 0,5$  e  $0,7$  para cores claras, medias e escuras, respectivamente.

A Norma NBR 15.220-3:2005, divide o país em 8 regiões bioclimáticas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c) – figura 4, devido a sua grande extensão territorial e climas diferentes em cada região. Nas cidades onde há monitoramento contínuo do clima, a Norma disponibiliza os valores para os dias típicos de verão e os dias típicos de inverno, anexo B e anexo C, que são definidos como “[...] um dia real, caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais quente [ou frio] do ano segundo a média do período dos últimos dez anos.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 7).

---

<sup>8</sup> 1 ren/hr = uma renovação de ar por hora no cômodo.

Figura 4 – Zonas bioclimáticas brasileiras



(fonte: YURIKO, 2012, não paginado)

Para os dias típicos de verão a NBR 15.575-1:2013 estabelece que as edificações devem apresentar “[...] condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de projeto de verão.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 22). Portanto, a Norma estabelece que (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 22):

O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

Condições essas que constituem o desempenho mínimo para a edificação, os critérios para alcançar os níveis intermediário e superiores estão visitados na tabela 6.

Tabela 6 – Critérios de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zona 1 a 7	Zona 8
<b>Mínimo</b>	$Ti\ máx. \leq Te\ máx.$	$Ti\ máx. \leq Te\ máx.$
<b>Intermediário</b>	$Ti\ máx. \leq (Te\ máx. - 2^{\circ}C)$	$Ti\ máx. \leq (Te\ máx. - 1^{\circ}C)$
<b>Superior</b>	$Ti\ máx. \leq (Te\ máx. - 4^{\circ}C)$	$Ti\ máx. \leq (Te\ máx. - 2^{\circ}C)$

$Ti\ máx.$  = Valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em grau Celsius;  
 $Te\ máx.$  = Valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em grau Celsius;  
Zonas bioclimáticas de acordo com a figura 4

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p.62)

Para as condições de inverno, os critérios são análogos aos critérios para os de verão, salvo que as zonas bioclimáticas 6, 7 e 8 não precisam realizar as avaliações do desempenho térmico para o inverno. As zonas restantes devem buscar “[...] apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores que do ambiente externo, no dia típico de projeto de inverno [...]”, (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 23). Portanto, a Norma estabelece que “[...] os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios, no dia típico de projeto de inverno, devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3°C.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 23).

A tabela 7, apresenta os critérios para os valores mínimos, intermediários e máximos de temperatura no interior de uma edificação, nas zonas 1 a 5, para as condições de inverno

Tabela 7 – Critérios de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério
	Zona 1 a 5
<b>Mínimo</b>	$Ti\ mín. \geq (Te\ mín. + 3^{\circ}C)$
<b>Intermediário</b>	$Ti\ mín. \geq (Te\ mín. + 5^{\circ}C)$
<b>Superior</b>	$Ti\ mín. \geq (Te\ mín. + 7^{\circ}C)$

$Ti\ mín.$  = Valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em grau Celsius;  
 $Te\ mín.$  = Valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em grau Celsius;  
Zonas bioclimáticas de acordo com a figura 4

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 63)

Caso a simulação computacional não venha a atingir o resultado esperado, a Norma estabelece que deverá ser realizada nova simulação, incluindo as seguintes alterações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 25):

- a) ventilação: configuração da taxa de ventilação de [...] 5 ren/hr e janelas sem sombreamento;

- b) sombreamento: inserção de proteção solar externa ou interna da esquadria externa com dispositivo capaz de cortar 50 % da radiação solar direta que entraria pela janela, com taxa de [...] 1 re/hr;
- c) ventilação e sombreamento: combinação das duas estratégias anteriores [...].

### *5.1.1.3 Procedimento via medição in loco*

Este procedimento é tomado apenas como informativo pela NBR 15.575-1:2013, pois não se sobrepõe aos procedimentos anteriores (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c). Ele estabelece a possibilidade de medir o desempenho térmico em edificações concluídas ou em protótipos em escala real. Nos protótipos deve-se ter o cuidado para “[...] reproduzir as condições mais semelhantes possível àquelas que serão observadas na edificação real [...]” (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 138), além da necessidade de serem feitas em dias típicos de verão ou inverno.

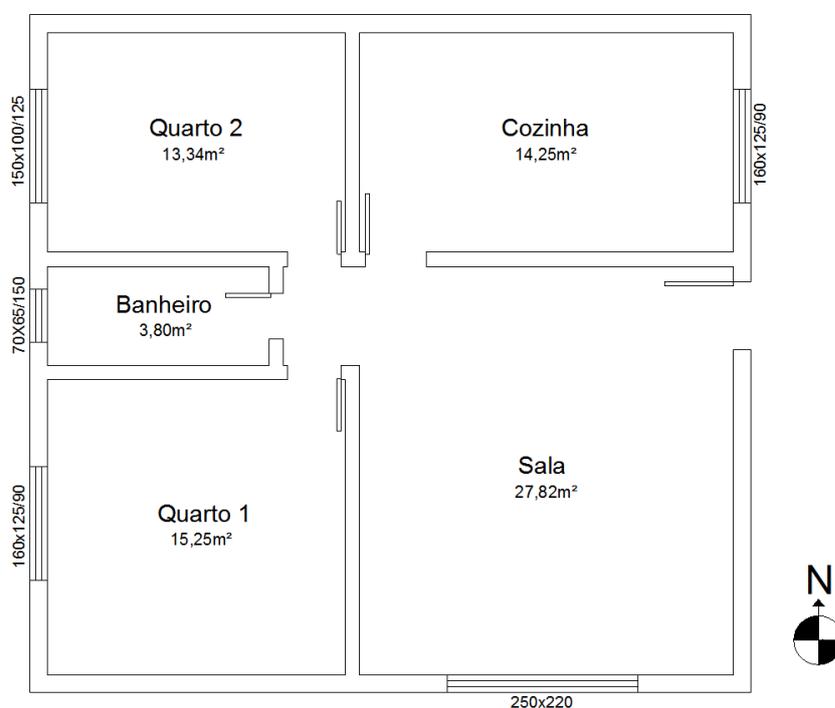
## 6 SIMULAÇÃO TÉRMICA

Neste capítulo será exposto o método usado para a realização da simulação térmica. Explicando desde a escolha da edificação habitacional modelo, materiais dos componentes construtivos simulados, programa computacional utilizado e resultados obtidos.

### 6.1 EDIFICAÇÃO MODELO

Para a realização da simulação computacional, foi estipulado uma edificação modelo, que representa o que normalmente se adota em edificações na região. A unidade habitacional é composta por sala, cozinha, dois quartos, banheiro e ático<sup>9</sup>, com pé direito de 270cm. Na figura 5 pode ser observada sua planta baixa.

Figura 5 – Planta baixa da edificação modelo



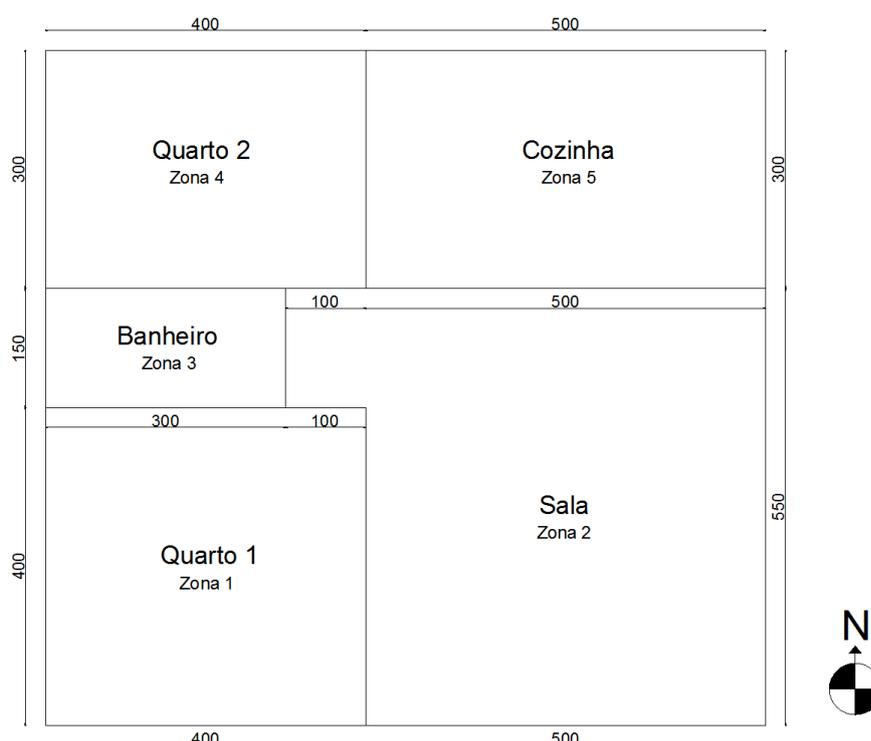
(fonte: elaborado pelo autor)

<sup>9</sup> Ático é o ambiente entre a laje de cobertura e o telhado da residência.

A orientação solar da residência foi definida para que obedeça aos requisitos da NBR 15575-1:2013. Ela define que a orientação solar, para construções em fase de projeto, sem local definido, deva ter no mínimo uma janela para o oeste e uma parede exposta para norte para simulações no verão e, uma janela para o sul e uma parede exposta para o leste nas simulações no inverno (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c). Portanto, será dada ênfase para os cômodos de permanência prolongada que se enquadram nos requisitos acima, que são o Quarto2 e a Sala.

Um dos requisitos necessários da simulação é dividir a residência em zonas térmicas. Como pode ser visto na figura 6 foram criadas seis zonas. As paredes das zonas não possuem espessuras pois, estas serão especificadas diretamente no programa de simulação, por meio das propriedades de cada componente estrutural, a zona 6 é o ático da residência.

Figura 6 - Divisão da residência em zonas térmicas



(fonte: elaborado pelo autor)

## 6.2 MATERIAIS

No programa de simulação é preciso definir e configurar quais os materiais que compõem a edificação, bem como, todas as suas características relevantes ao comportamento térmico.

Todos os materiais da edificação foram escolhidos de tal forma que representem a prática construtiva da região de Porto Alegre/RS, desta forma gerando resultados mais próximo do real na simulação computacional.

### 6.2.1 Parede de tijolos

Para a alvenaria de vedação externa, serão simuladas paredes com tijolos de 19x19x29cm, dispostos na menor direção e, assentados com argamassa na espessura de 10mm. A alvenaria interna será composta por tijolos de 14x19x29cm, dispostos na menor direção e, assentados com argamassa na espessura de 10mm.

Para garantir um melhor resultado na simulação, foram calculados a condutividade térmica ( $\lambda$ ), calor específico ( $c$ ) e densidade ( $\rho$ ) para os dois tipos de paredes. O roteiro de cálculo foi baseado na NBR 15.220-2:2005, que também fornece valores tabelados de  $\lambda$ ,  $c$  e  $\rho$ , para os materiais da parede (tijolo e argamassa) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). Os valores utilizados nos materiais e os valores finais para as paredes podem ser vistos nas tabela 8 e 9, respectivamente.

Tabela 8– Propriedades dos materiais das paredes

	$\lambda$ [W/(m.k)]	$c$ [kJ/(kg.k)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Tijolo</b>	0,9	920	1600
<b>Argamassa</b>	1,15	1000	2000

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p. 13)

Tabela 9 – Propriedades das paredes de vedação

PROPRIEDADE	Parede: Tijolo + Argamassa	
	19x19x29	14x19x29
e [m]	0,190	0,140
$\lambda$ [W/(m.K)]	0,483	0,501
c J/[Kg.K]	520,468	603,569
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	720,210	807,429

(fonte: elaborado pelo autor)

## 6.2.2 Argamassas de revestimento

Para a simulação, foram definidas quatro tipos diferentes de argamassas de reboco em três espessuras: 25mm, 30mm e 40mm, com agregados distintos, especificados na tabela 10. Na figura são representadas as argamassas A, B e C, antes de sua mistura.

Tabela 10 – Argamassas simuladas

TIPO	TIPO	BASE
Argamassa A	Comum	Areia
Argamassa B	Termoacústica	Fibras naturais e areia
Argamassa C	Térmica	Micaxisto e argila
Argamassa D	Térmica	Argila e perlita expandida

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 7 - Argamassa A, B e C



(fonte: foto do autor)

Para a realização da simulação, são necessários 4 dados dos materiais: espessura (e), condutividade térmica ( $\lambda$ ), calor específico (c) e densidade ( $\rho$ ). Os dados utilizados foram os fornecidos pelos fabricantes ou, na inacessibilidade deles, utilizados os indicados pela

NBR 15.220-2:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b), com prevê a NBR 15.575-1:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 22).

Na tabela 11 estão demonstradas as argamassas estudadas, com suas características térmicas.

Tabela 11 – Propriedades das argamassas simuladas

	<b>Argamassa A</b>	<b>Argamassa B</b>	<b>Argamassa C</b>	<b>Argamassa D</b>
<b>e [mm]</b>	25; 30; 40	25; 30; 40	25; 30; 40	25; 30; 40
<b><math>\lambda</math> [W/(m.K)]</b>	1,15	0,62	0,20	0,16
<b>c [J/(Kg.K)]</b>	1000 <sup>2</sup>	1000 <sup>2</sup>	1000 <sup>2</sup>	1000 <sup>2</sup>
<b><math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	2000 <sup>2</sup>	1300 <sup>1</sup>	1010 <sup>1</sup>	900

<sup>1</sup>Valores medidos pelo autor.

<sup>2</sup>Valores indicados pela NBR 15.220-2:2005, pois não são fornecidos pelos fabricantes

(fonte: elaborado pelo autor)

### 6.2.3 Demais materiais

Para os outros materiais presentes na construção tais como: telhas cerâmicas, lajes de concreto, vidros, foram utilizados os valores encontrados no programa DOMUS<sup>10</sup> (DOMUS – ELETROBRÁS, 2014) medidos pelo Laboratório de eficiência energética em edificações ou os fornecidos pela NBR 15.220-2:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). Estes materiais estão especificados na descrição dos componentes no capítulo posterior.

## 6.3 COMPONENTES

Um componente é a união de materiais que geram uma composição que será utilizada na edificação. Um exemplo de componentes são as paredes de vedação, compostas por: revestimento interno, parede de tijolos, revestimento externo e pintura.

A união de materiais, gera o componente que trará informações importantes sobre o seu comportamento térmico. Essas informações resultam nos valores de transmitância térmica (U),

<sup>10</sup> DOMUS é outro programa de simulação térmica, nacional, desenvolvido pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPr, utilizado também neste trabalho como parâmetro de comparação e, testes entre as simulações dos dois programas.

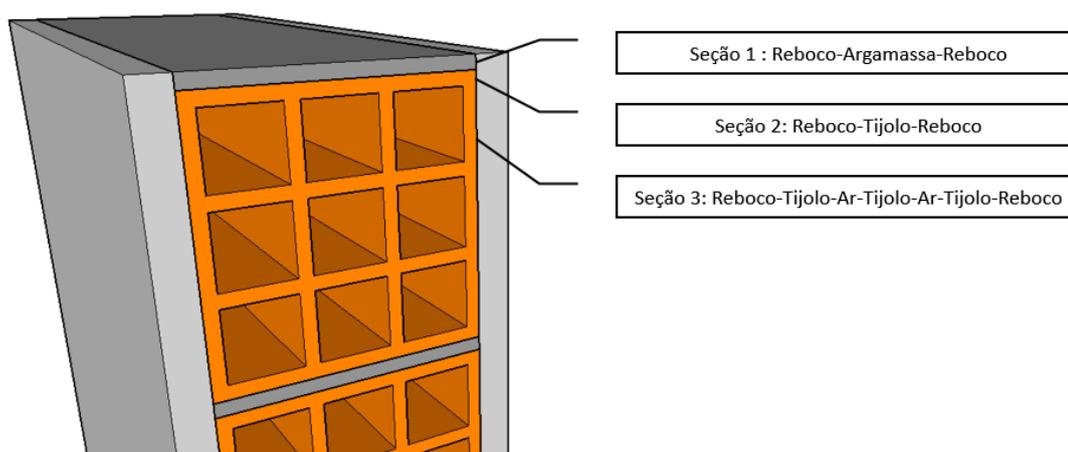
capacidade térmica (CT), absorvância a radiação solar ( $\alpha$ ), fator solar de elementos opacos (FS<sub>o</sub>) e atraso térmico ( $\varphi$ ).

### 6.3.1 Metodologia de cálculo

Para encontrar U, CT,  $\alpha$ , FS<sub>o</sub> e  $\varphi$  seguiu-se a metodologia de cálculo para elementos não homogêneos descrita na NBR 15.220-2:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b).

O primeiro passo será calcular a resistência térmica das diversas seções dos materiais que constituem o componente. A divisão de seções é feita no sentido do fluxo de calor, para cada tipo de seção diferente deve-se fazer o cálculo da formula 1. Um exemplo de divisão de seção pode ser visto na figura 8.

Figura 8 – Exemplo de seções de uma parede de tijolos



(fonte: elaborado pelo autor)

$$R_i = \sum_i^n \frac{e_i}{\lambda_i} \quad (\text{fórmula 1})$$

Sendo:

R<sub>i</sub> = resistência térmica da seção i

e = espessura da camada de material i

$\lambda$  = condutividade térmica do material  $i$

Após calcular a resistência para cada seção do componente, irá ser feito o cálculo da resistência do componente, estabelecido pela formula 2.

$$R_t = \frac{\sum_i^n A_i}{\sum_i^n \frac{A_i}{R_i}} \quad (\text{fórmula 2})$$

Sendo:

$R_t$  = resistência térmica do componente

$A_i$  = área da seção  $i$

$R_i$  = resistência térmica da seção  $i$

Concluído o cálculo da resistência do material, é necessário somar a resistência térmica superficial interna ( $R_{si}$ ) e externa ( $R_{se}$ ) para obter a resistência térmica total do componente, como observa-se na formula 3.

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (\text{fórmula 3})$$

Sendo:

$R_T$  = resistência térmica total do componente

$R_{si}$  = resistência térmica superficial interna

$R_{se}$  = resistência térmica superficial externa

Invertendo o resultado obtido na fórmula 3, encontra-se pela formula 4 a primeira variável que será utilizada na simulação.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (\text{fórmula 4})$$

Sendo:

$U$  = transmitância térmica do componente

$R_T$  = resistência térmica total do componente

O próximo passo é o cálculo da capacidade térmica, para equacionar a formula 5, foi utilizado o mesmo critério de seção de materiais visto na figura 8.

$$C_{Ti} = \sum_i^i e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (\text{fórmula 5})$$

Sendo:

$C_{Ti}$  = capacidade térmica da seção  $i$

$e_i$  = espessura da camada do material  $i$

$c_i$  = capacidade calorífica do material  $i$

$\rho_i$  = densidade do material  $i$

Dando sequência será obtida a capacidade térmica total (fórmula 6), com um cálculo análogo ao da resistência térmica do componente.

$$C_T = \frac{\sum_i^n A_i}{\sum_i^n \frac{A_i}{C_{Ti}}} \quad (\text{fórmula 6})$$

Sendo:

$C_T$  = capacidade térmica total do componente

$A_i$  = Área da seção  $i$

$C_{Ti}$  = capacidade térmica da seção  $i$

O fator do ganho de calor solar em elemento opacos, é definido principalmente pela cor da superfície mais externa dos componentes, expresso pela formula 7. Para o estudo da edificação considerou-se a absorvância a radiação solar de uma cor clara, com  $\alpha = 0,4$ .

$$F_{so} = 100. U. \alpha . R_{se} \quad (\text{fórmula 7})$$

Sendo:

$F_{so}$  = fator solar de elementos opacos (%)

U = transmitância térmica do componente

$\alpha$  = absorvância a radiação solar do componente

$R_{se}$  = resistência superficial externa

Para o cálculo do atraso térmico de componentes heterogêneos, deve-se fazer uma sequência de operações (fórmulas 8, 9 e 10) para se chegar ao valor final, na fórmula 11.

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} \quad (\text{fórmula 8})$$

$$B_1 = 0,226. \frac{B_0}{R_t} \quad (\text{fórmula 9})$$

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

$$\varphi = 1,382. R_t. \sqrt{B_1 + B_2} \quad (\text{fórmula 11})$$

Sendo:

$R_t$  = resistência térmica de superfície a superfície do componente

$C_T$  = capacidade térmica total do componente

$C_{T_{ext}}$  = capacidade térmica da camada externa do componente

$(\lambda.\rho.c)_{ext}$  = condutividade térmica, densidade e calor específico da última camada do componente junto a face externa

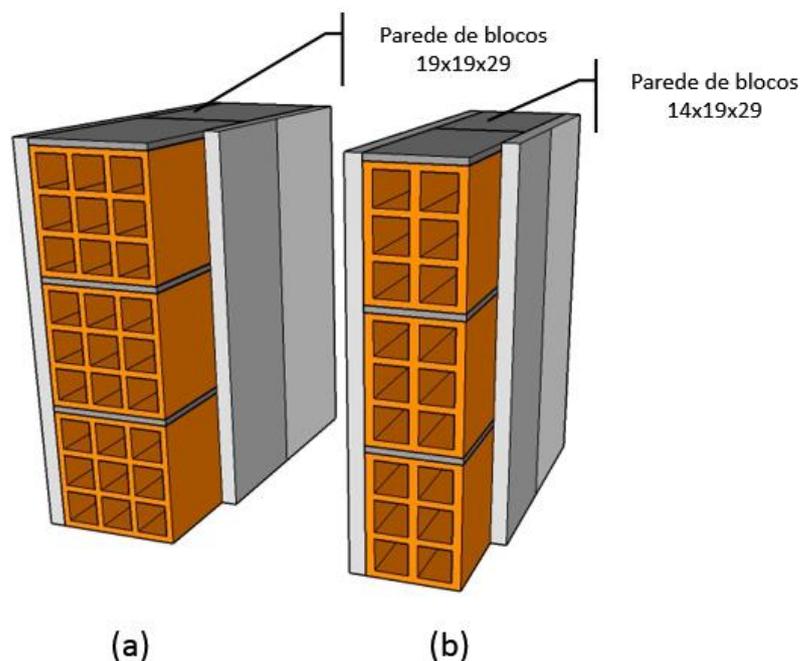
$R_{ext}$  = resistência térmica da última camada do componente junto a face externa

Os componentes utilizados para a simulação bem como suas propriedades obtidas pelos cálculos acima, serão descritos a seguir.

### 6.3.2 Paredes

As paredes são as partes mais importante desta simulação pois, serão por elas que o fluxo de calor horizontal irá variar, dependendo do tipo de argamassa e de espessura utilizada. Foram criadas dois tipos de paredes: as internas com tijolos na espessura de 14cm, com 20mm de reboco com propriedades térmicas em cada lado e, as externas de tijolos na espessura de 19cm, rebocadas com material com propriedades térmicas dos dois lados, com espessuras variando em 25mm, 30mm e 40mm, exemplificadas na figura 9.

Figura 9 – Parede externa (a) e interna (b) criadas para a simulação computacional



(fonte: elaborado pelo autor)

Segundo a NBR 13.749:2013, as espessuras admissíveis para o reboco interno variam entre 5mm e 20mm e, o externo entre 20mm e 30mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. 2). Como visto acima, uma das espessuras de reboco ultrapassará o limite definido pela norma, que caso aconteça medidas de fixação deverão ser utilizadas na camada de reboco, com por exemplo, a utilização de telas de estuque. Neste trabalho será simulada a argamassa sem nenhum tipo de reforço.

Os resultados obtidos pelos cálculos para os dois tipos de paredes estão mostrados nas tabelas 12 e 13, para paredes internas e externas, respectivamente.

Tabela 12 – Propriedades das paredes externas

PAREDE EXTERNA	Argamassa A			Argamassa B			Argamassa C			Argamassa D		
	25mm	30mm	40mm									
U [W/m <sup>2</sup> .K]	1,65	1,62	1,58	1,55	1,51	1,44	1,23	1,16	1,04	1,14	1,07	0,94
Ct [J/m <sup>2</sup> .K]	171,2	191,2	231,2	146,2	161,2	191,2	121,7	131,8	152,0	116,2	125,2	143,2
$\alpha$	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Fso [%]	2,63	2,60	2,53	2,48	2,42	2,31	1,97	1,85	1,66	1,83	1,70	1,50
$\phi$ [h]	4,78	5,03	5,50	4,72	4,96	5,44	5,18	5,51	6,18	5,35	5,71	6,43

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 13 – Propriedades das paredes internas

PAREDE INTERNA	Argamassa A			Argamassa B			Argamassa C			Argamassa D		
	25mm	30mm	40mm									
U [W/m <sup>2</sup> .K]	2,03	1,99	1,93	1,89	1,83	1,73	1,43	1,33	1,18	1,31	1,21	1,05
Ct [J/m <sup>2</sup> .K]	168,2	188,2	228,2	143,2	158,2	188,2	118,7	128,8	149,0	113,2	122,2	140,2
$\alpha$	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Fso [%]	3,24	3,19	3,08	3,02	2,93	2,76	2,29	2,13	1,88	2,10	1,94	1,68
$\phi$ [h]	4,06	4,29	4,73	4,06	4,29	4,76	4,62	4,97	5,65	4,82	5,19	5,92

(fonte: elaborado pelo autor)

A Norma 15.575-4:2013, que trata somente de paredes verticais, recomenda, para a zona bioclimática de Porto Alegre (Zona 3), um valor máximo de  $U \leq 3.7 \text{ W/m}^2.\text{K}$  para paredes externas com  $\alpha \leq 0.6$ . Já para a capacidade térmica a mesma Norma estabelece um valor de  $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2.\text{k}$  (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013d).

Analisando as tabelas 12 e 13 podemos notar que todas as paredes se enquadram no valor estipulado para transmitância térmica. No caso da capacidade térmica algumas paredes internas não respeitam esses valores, porém a NBR 15575-4:2013 exige somente que as paredes externas superem o valor mínimo. As paredes externas que não alcançaram o mínimo são as revestidas pela argamassa C, com 25mm, e a argamassa D, com 25mm e 30mm. Fato este ocasionado devido a densidade e o valor da condutividade térmica serem menores que as das demais argamassas estudadas, dado que o cálculo é feito segundo a fórmula 5. Caso isso aconteça – do valor não ser satisfatório no método simplificado – a edificação deverá ser avaliada pelo método da simulação computacional.

O valor do atraso térmico, é definido como o tempo, em horas, necessário para a variação térmica de um lado até a superfície oposta quando submetido a um regime térmico senoidal (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c), depende da ordem em que estão dispostos os materiais e o valor da absorvância a radiação solar do componente. Analisando o valor do atraso térmico das paredes notamos que aumentando a espessura e trocando a argamassa para as com condutividade térmica menor, há um aumento no atraso térmico da parede, porém vale ressaltar que este cálculo mede somente a variação da temperatura em uma parede isolada, diferentemente de uma simulação computacional, que analisa o fluxo térmico em todas as direções e de todos os componentes ao mesmo tempo.

### 6.3.3 Cobertura

A cobertura escolhida para a simulação é constituída por telhas cerâmicas, laje pré-moldada de concreto (12cm de vigota, 7cm de lajota cerâmica e uma camada superior de 1cm de concreto) e uma camada de 2cm de reboco. Segundo a norma de desempenho 15.575-5:2013, que trata especialmente de coberturas, recomenda que para a zona bioclimática de Porto Alegre (Zona 3), um desempenho mínimo de  $U \leq 2.30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ; mas também classifica os desempenhos intermediário:  $U \leq 1.50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  e, superior:  $U \leq 1.00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , todos com  $\alpha \leq 0.6$  (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013e). As propriedades para a cobertura podem ser vistas na tabela 14.

Tabela 14 – Propriedades da cobertura

COBERTURA	
U [W/m <sup>2</sup> .K]	2,2
Ct [J/m <sup>2</sup> .K]	187,6
$\alpha$	0,6
Fso [%]	4,4
$\phi$ [h]	4,559

(fonte: elaborado pelo autor)

Nota-se que esta cobertura se enquadra na categoria mínima exigida pela norma, mesmo sendo uma das soluções mais adotadas em construções da região, pela sua facilidade e custo de execução.

### 6.3.4 Demais componentes

Os demais componentes que fazem parte da edificação, são especificados na tabela 15 e classificados abaixo:

- a) piso: porcelanato e laje de 15cm de concreto;
- b) porta externa: madeira de lei;
- c) vidros: transparentes de 3mm;
- d) forro: laje mista e reboco de 2cm de argamassa comum.

Tabela 15 – Propriedades dos demais componentes

	<b>PISO</b>	<b>PORTA EXTERNA</b>	<b>VIDROS</b>	<b>FORRO</b>
<b>U [W/m<sup>2</sup>.K]</b>	3,69	2,07	5,65	3,31
<b>Ct [J/m<sup>2</sup>.K]</b>	368,60	45,18	18,75	160
<b><math>\alpha</math></b>	0,5	0,5	-	0,5
<b>Fso [%]</b>	7,4	4,1	-	6,6

(fonte: elaborado pelo autor)

## 6.4 ENERGYPLUS

O programa utilizado para a realização da simulação computacional foi o Energyplus 8.3.0. Este é o programa recomendado pela norma de desempenho, pois com ele é possível simular as 8760 horas do ano em uma determinada edificação, além de ser certificado pela ASHRAE 140<sup>11</sup>.

O Energyplus é um “programa de simulação termoenergética que tem suas raízes nos programas americanos BLAST [...] e DOE-2, desenvolvidos no final de 1970 e início de 1980 como ferramentas de simulação de energia e de carga térmica” (VELOSO, 2012, p. 34). Com ele é possível simular as conduções de calor transiente, sistemas de ar condicionado, modelos de conforto térmico, iluminação natural, equipamentos elétricos, ocupação das zonas por pessoas, entre outras inúmeras variáveis. Os resultados fornecidos pelo programa também são vastos, tais como: temperatura e umidade interna e externa, conforto térmico, consumo de energia, graus hora de aquecimento e resfriamento, entre outros (UNITED STATES, 2015). Todas estas qualidades tornaram o programa uma referência mundial no assunto.

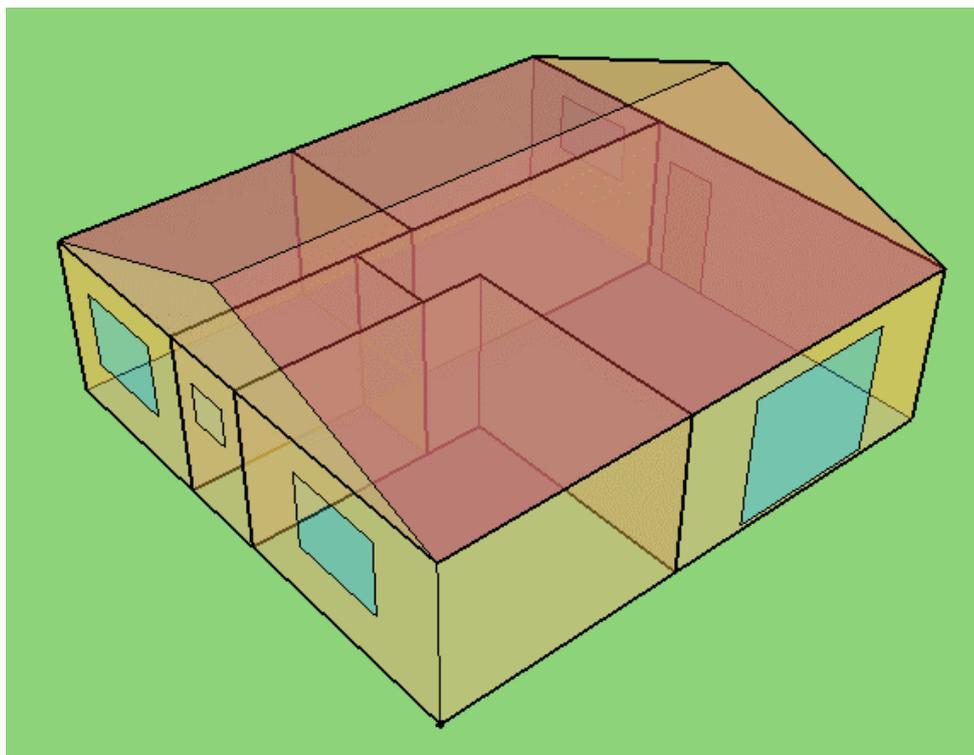
Um dos inconvenientes existente, principalmente para os usuários acostumados com as interfaces atuais dos programas, é que todos os dados de entrada devem ser introduzidos por meio de texto. Para suprir esta dificuldade surgiram outros programas chamados de “extensões” que facilitam o trabalho de montar a simulação. Alguns desses programas utilizados no trabalho são o Sketchup e o Openstudio. O Sketchup é um programa de desenho em três dimensões, com ferramentas simples e interface intuitiva, que facilita a criação e a modelagem tridimensional da edificação no computador. A ponte entre o desenho e o Energyplus é o *plugin*

<sup>11</sup> AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). ANSI/ASHRAE **Standard 140-2001**: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. Atlanta, USA: ASHRAE, 2001.

Openstudio, que converte todas as entidades criadas no Sketchup em formato textual, que será lido pelo simulador térmico.

A figura 10 mostra a edificação residencial desenhada, no Sketchup.

Figura 10 – Modelagem da residência



(fonte: elaborado pelo autor)

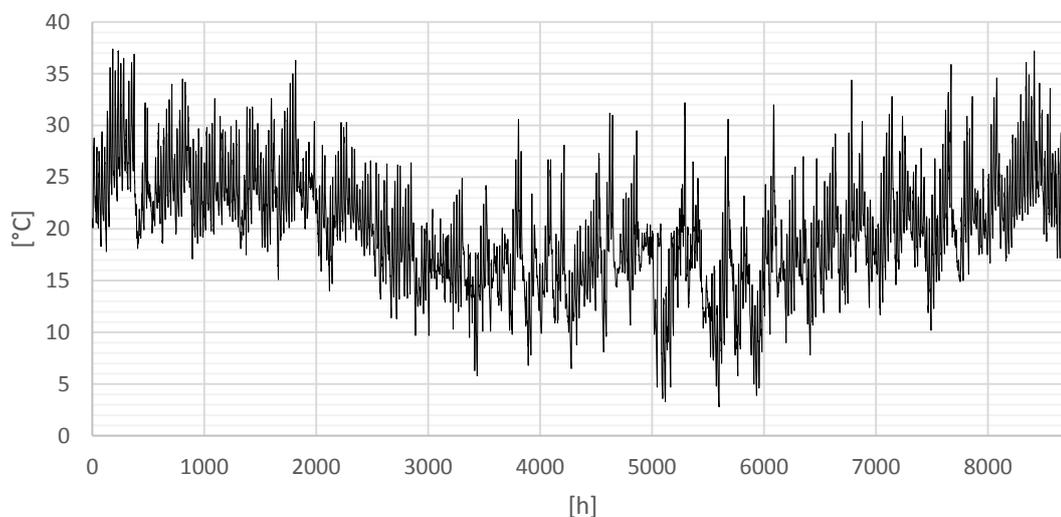
## 6.5 ARQUIVO CLIMÁTICO

Para rodar a simulação computacional é necessário incluir um arquivo climático de formato epw (*EnergyPlus Weather format*) ou, informações sobre os *Design Days*, que são os dias típicos de verão e inverno.

O arquivo epw está disponibilizado no site do Labeee (RORIZ, 2015). Nele há informações de medições horárias de temperatura, umidade, radiação solar, velocidade, direção do vento (STEIN, 2011), temperatura do solo, entre outros. O arquivo utilizado é referente a cidade de Porto Alegre (latitude 30° 02' S, longitude 51° 22' W e altitude de 47m).

Na figura 11 observa-se a evolução horária da temperatura de bulbo seco, para o ano da simulação.

Figura 11 – Temperatura de bulbo seco para a cidade de Porto Alegre



(fonte: RORIZ, 2015)

Na tabela 16 consta os dados de dias típicos de inverno e verão, estipulados pela NBR 15.575-1:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c), utilizados para a simulação computacional.

Tabela 16 – Propriedades dos dias típicos de verão e inverno

<b>PORTO ALEGRE</b>	<b>Temp. máx. diária</b>	<b>Temp. mín. diária</b>	<b>Amplitude diária de temp.</b>	<b>Temp. de bulbo úmido</b>	<b>Nebulosidade décimos</b>
<b>Dia típico de Verão</b>	35,9 °C	-	9,6 °C	23,9 °C	5
<b>Dia típico de Inverno</b>	-	4,3 °C	8,6 °C	12,1 °C	6

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 46-47)

A configuração da média mensal da temperatura do solo a 50cm de profundidade adotada, é vista na tabela 17. Esta temperatura é encontrada no arquivo epw do ano de referência, e é utilizada na simulação para calcular a troca térmica entre o solo com a laje de concreto, na superfície.

Tabela 17 – Média mensal da temperatura do solo a 50cm de profundidade, em °C

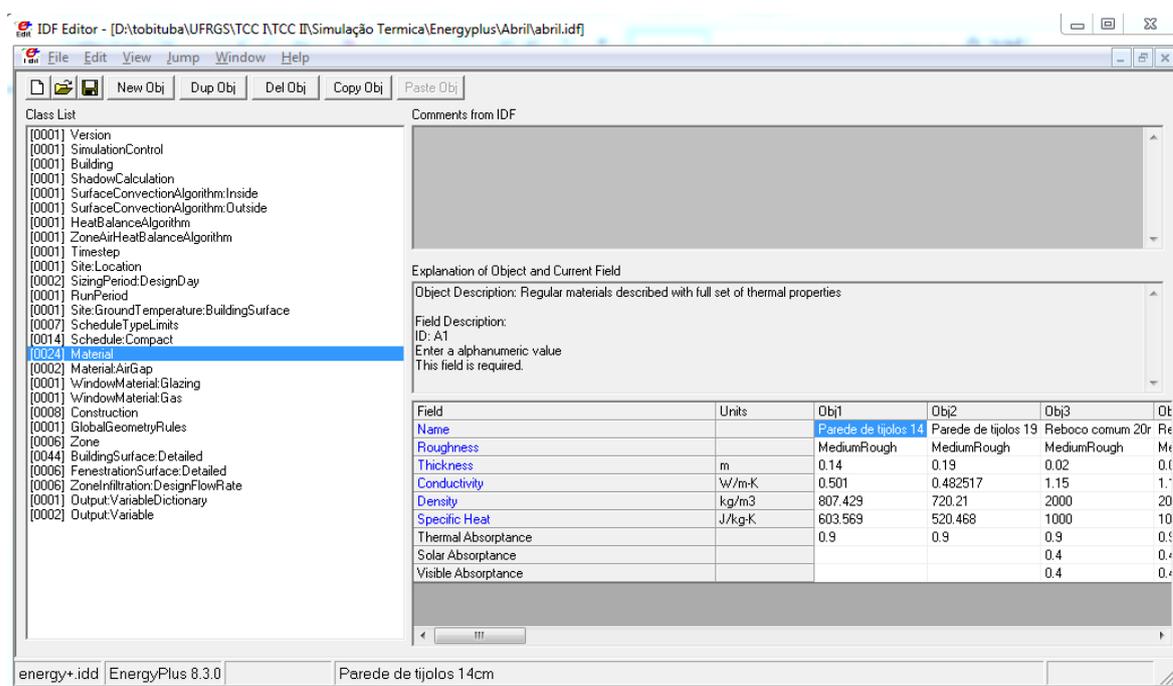
Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.
22,71	24,27	24,65	24,23	22,00	19,56
Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
17,3	15,69	15,27	16,11	18,02	20,39

(fonte: RORIZ, 2015)

## 6.6 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Neste capítulo será feita uma breve descrição dos parâmetros utilizados no *setup* da simulação térmica. A figura 12 demonstra a janela de edição do programa Energyplus.

Figura 12 – Janela de edição do Energyplus



(fonte: elaborado pelo autor)

As variáveis definidas serão descritas nos tópicos abaixo:

- Simulation control*: simulado o ano inteiro e os dias típicos;
- Building*: definida a orientação solar da edificação, com terreno do entorno simulando o correspondente ao de uma cidade;
- Shadown Calculation*: simulado os sombreamentos;
- Surface Convection Algorithm Inside*: utilizado o método TARP;
- Surface Convection Algorithm Outside*: utilizado o método DOE-2;

- f) *Heat Balance Algorithm*: utilizado o método *Conduction Transfer Function*
- g) *Zone Air Heat Balance Algorithm*: utilizado o método *Third Order Backward Difference*;
- h) *Timestep*: simulação calculada em tempos de 02 em 02 minutos;
- i) *Site Location*: local definido como a cidade de Porto Alegre;
- j) *Sizing Period Design Days*: utilizados os dias típicos de inverno e verão da norma 15.575-1:2013;
- k) *Run Period*: simulação anual, de 1 de Jan. até 31 de Dez.;
- l) *Site Ground Temperature Building Surface*: temperatura média do solo em cada mês do ano;
- m) *Material*: materiais definidos no cap. 6.2;
- n) *Construction*: componentes definidos no cap. 6.3;
- o) *Global Geometry Rules*: define a regra de coordenadas cartesianas;
- p) *Zones*: especifica as seis zonas da edificação;
- q) *Building Surface Detailed*: expande as zonas em superfícies;
- r) *Frenestration Surface Detailed*: define as portas e janelas;
- s) *Zone infiltration: Desgin Flow rate*: define a taxa de renovação de ar;
- t) *Output Variable Dictionary*: define a geração de um relatório de saída completo;
- u) *Output Variable*: define que no relatório devam conter os resultados das temperaturas interna e externa de cada cômodo.

## 6.7 RESULTADOS

Neste capítulo serão expostos os resultados obtidos para a simulação anual e da simulação dos dias típicos de inverno e verão, para a residência estudada.

### 6.7.1 Simulação anual

Antes de se analisar as simulações dos dias típicos de inverno e verão, será exibida uma visão geral do comportamento das argamassas durante o período de 1 ano. Para isso rodou-se a simulação anual de todas as argamassas e espessuras, obtendo as temperaturas médias, máximas e mínimas.

O arquivo utilizado para o ano de referência de Porto Alegre, possui uma média anual de temperatura externa de 19,940°C, com máxima de 37,207°C e mínima de 2,897 °C.

Analisando a tabela 18, para os cômodos Sala e Quarto2, pode-se verificar que a temperatura média anual é praticamente a mesma para todas as argamassas e espessuras, ficando em média 1,451°C acima, da média da temperatura externa. A maior diferença na temperatura média acontece entre as argamassas A-25mm e D-40mm, no Quarto2, correspondendo a 0,089°C. A temperatura mais baixa foi de 9,488°C registrada pela argamassa B-25mm, na sala; e a mais alta foi de 34,500°C registrada pela argamassa D-25mm, na sala.

Tabela 18 – Temperaturas média, máxima e mínima para a simulação anual

Espessura	Temperatura	Temperaturas internas [°C]							
		Sala				Quarto2			
		A	B	C	D	A	B	C	D
25mm	Máxima	34,038	34,247	34,297	34,324	34,034	34,388	34,423	34,500
	Mínima	9,626	9,488	9,560	9,571	9,878	9,671	9,785	9,804
	Média	21,291	21,302	21,336	21,344	21,417	21,432	21,471	21,482
30mm	Máxima	33,970	34,192	34,247	34,279	33,896	34,251	34,334	34,421
	Mínima	9,689	9,548	9,623	9,632	9,983	9,771	9,890	9,904
	Média	21,292	21,306	21,343	21,353	21,417	21,435	21,479	21,491
40mm	Máxima	33,850	34,088	34,166	34,209	33,701	34,037	34,208	34,315
	Mínima	9,791	9,653	9,729	9,737	10,148	9,944	10,060	10,073
	Média	21,296	21,313	21,357	21,368	21,420	21,442	21,493	21,506

(fonte: elaborado pelo autor)

## 6.7.2 Dias típicos

A norma define que a edificação deverá ser avaliada para os dias típicos de inverno e verão. No estudo de caso, a edificação não contém nenhuma carga interna (pessoas, iluminação, equipamentos elétricos) e não foi usado nenhum sistema de sombreamento (*brises* ou persianas). Tanto o solo quanto o telhado realizam transferência de calor com as zonas térmicas, todas as zonas possuem uma taxa de 1 ren/h e com exceção do tipo e espessura do revestimento de argamassa todos os parâmetros foram mantidos iguais.

A simulação do dia típico de inverno é realizada no cômodo da Sala, por possuir uma janela voltada para o sul (250x220cm) e uma parede exposta a leste. Os resultados da simulação para as quatro argamassas (A, B, C, D) nas três espessuras (25mm, 30mm, 40mm) estão apresentados na tabela 19.

Tabela 19 – Temp. máx., mín. e méd. para o dia típico de inverno

<b>SALA</b>					
<b>Temperatura em °C para a espessura de 25mm</b>					
	<b>Externa</b>	<b>Interna</b>			
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Máx.</b>	12,900	11,542	11,647	11,779	11,542
<b>Mín.</b>	<b>4,383</b>	<b>9,104</b>	<b>9,022</b>	<b>9,121</b>	<b>9,104</b>
<b>Méd.</b>	8,288	10,264	10,271	10,377	10,264
<b>Temperatura em °C para a espessura de 30mm</b>					
	<b>Externa</b>	<b>Interna</b>			
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Máx.</b>	12,900	11,517	11,627	11,778	11,829
<b>Mín.</b>	<b>4,383</b>	<b>9,152</b>	<b>9,071</b>	<b>9,175</b>	<b>9,195</b>
<b>Méd.</b>	8,288	10,276	10,287	10,406	10,440
<b>Temperatura em °C para a espessura de 40mm</b>					
	<b>Externa</b>	<b>Interna</b>			
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Máx.</b>	12,900	11,386	11,598	11,787	11,848
<b>Mín.</b>	<b>4,383</b>	<b>9,093</b>	<b>9,154</b>	<b>9,258</b>	<b>9,278</b>
<b>Méd.</b>	8,288	10,189	10,317	10,460	10,497

(fonte: elaborado pelo autor)

Para o inverno, a análise é feita comparando a temperatura mínima exterior com a mínima do interior do cômodo de permanência prolongada, para o dia em questão. Analisando, pode-se notar que todas as argamassas se enquadram no critério mínimo de desempenho, que estabelece  $T_{\text{mín.}} \geq (T_{\text{emín.}} + 3^\circ \text{C})$ , resultando em uma média de  $T_{\text{emín.}} + 4,761^\circ \text{C}$ .

Observa-se que a mudança de argamassa surtiu pouco efeito para a temperatura mínima registrada, ocorrendo um pequeno aumento na casa dos décimos de grau.

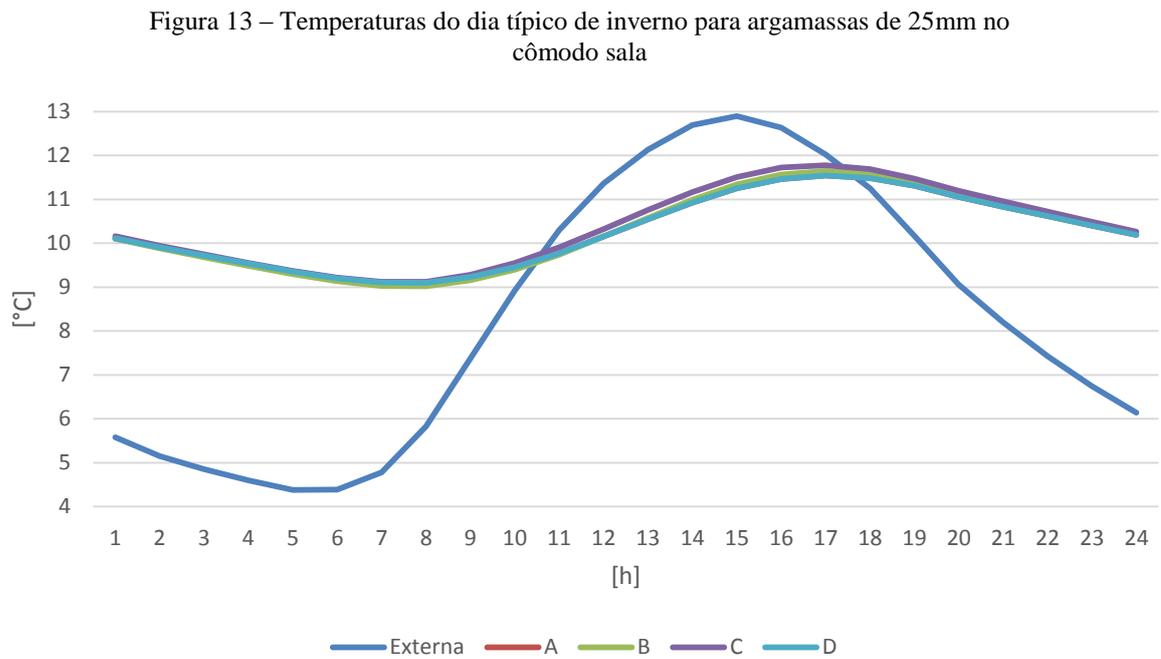
Aumentando a espessura das argamassas nota-se um aumento na temperatura mínima do cômodo, chegando em uma diferença máxima de  $0,174^\circ \text{C}$  entre as espessuras de 25mm e 40mm da argamassa D.

O melhor desempenho registrado na simulação, foi usando a argamassa D, que obteve a maior temperatura mínima, com  $9,278^\circ \text{C}$ .

As figuras 13, 14 e 15 graficam a variação da temperatura externa e das internas e os resultados para as diferentes espessuras usadas na simulação do dia típico de inverno, na Sala. A maior

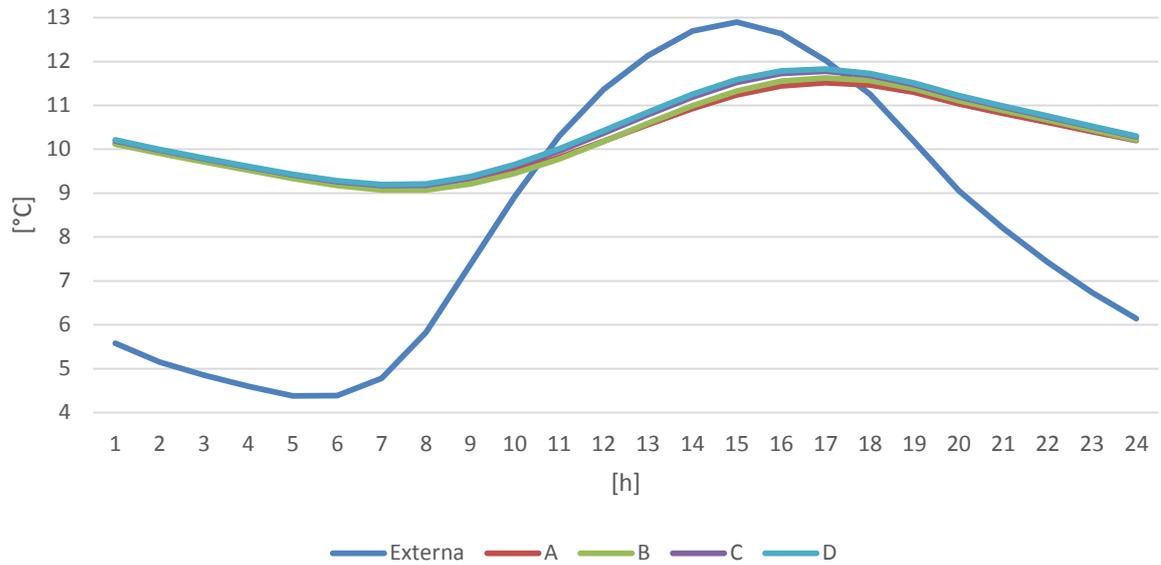
diferença entre as argamassas acontece na espessura de 40mm, onde foi encontrada uma diferença de 0,185 °C entre as argamassas A e D.

Os dados completos da simulação do dia típico de inverno para os cômodos da sala e quarto2 podem ser vistos no apêndice A.



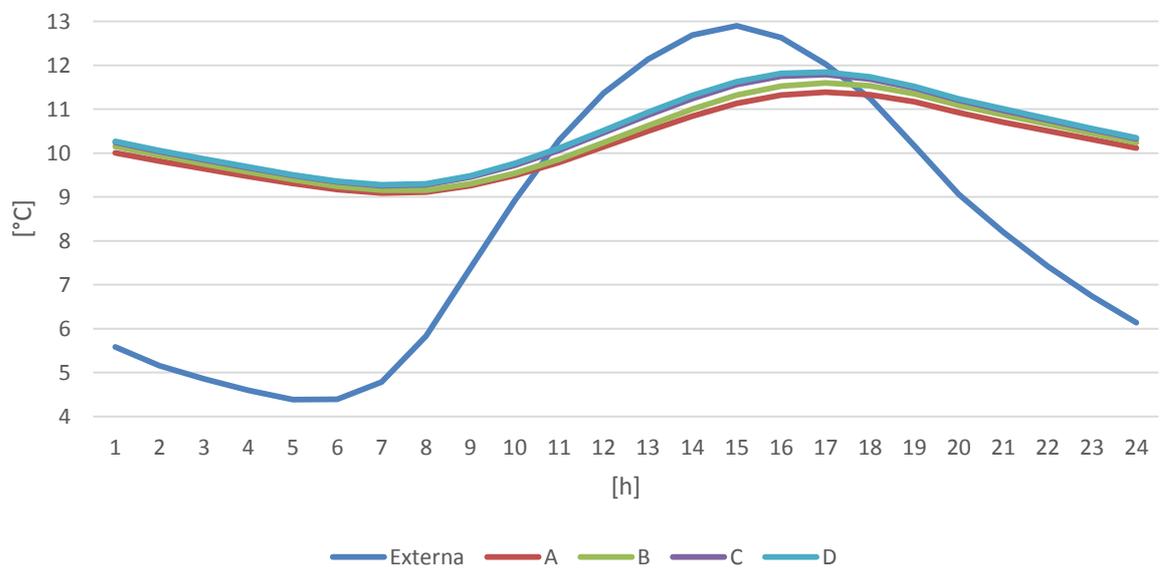
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 14 – Temperaturas do dia típico de inverno para argamassas de 30mm no cômodo sala



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 15 – Temperaturas do dia típico de inverno para argamassas de 40mm no cômodo sala



(fonte: elaborado pelo autor)

A análise do dia típico de verão é realizada no cômodo do Quarto2, por possuir uma janela voltada para o norte (160x125cm) e uma parede exposta ao oeste. Os resultados da simulação

para as quatro argamassas em três espessuras – 25mm, 30mm e 40mm estão apresentados na tabela 20.

Tabela 20 – Temp. máx., mín. e méd. para o dia típico de verão

<b>QUARTO2</b>					
<b>Temperatura em °C para a espessura de 25mm</b>					
	<b>Externa</b>	<b>Interna</b>			
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Máx.</b>	<b>35,900</b>	<b>32,882</b>	<b>33,169</b>	<b>33,179</b>	<b>33,205</b>
<b>Mín.</b>	26,393	28,853	28,632	28,598	28,574
<b>Méd.</b>	30,752	30,796	30,792	30,767	30,760
<b>Temperatura em °C para a espessura de 30mm</b>					
	<b>Externa</b>	<b>Interna</b>			
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Máx.</b>	<b>35,900</b>	<b>32,753</b>	<b>33,047</b>	<b>33,067</b>	<b>33,102</b>
<b>Mín.</b>	26,393	28,941	28,706	28,670	28,640
<b>Méd.</b>	30,752	30,793	30,789	30,758	30,750
<b>Temperatura em °C para a espessura de 40mm</b>					
	<b>Externa</b>	<b>Interna</b>			
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Máx.</b>	<b>35,900</b>	<b>32,578</b>	<b>32,846</b>	<b>32,908</b>	<b>32,959</b>
<b>Mín.</b>	26,393	29,093	28,850	28,789	28,746
<b>Méd.</b>	30,752	30,787	30,782	30,741	30,731

(fonte: elaborado pelo autor)

Para o verão, a análise é feita comparando a temperatura máxima exterior com a máxima no interior do cômodo de permanência prolongada, para o dia em questão. Analisando, obteve-se o mesmo resultado de desempenho para todas as argamassas, qualificando no critério intermediário, que estabelece  $T_{i_{máx.}} \leq (T_{e_{máx.}} - 2^{\circ}\text{C})$ , resultando em uma média de  $T_{e_{máx.}} - 2,925^{\circ}\text{C}$ .

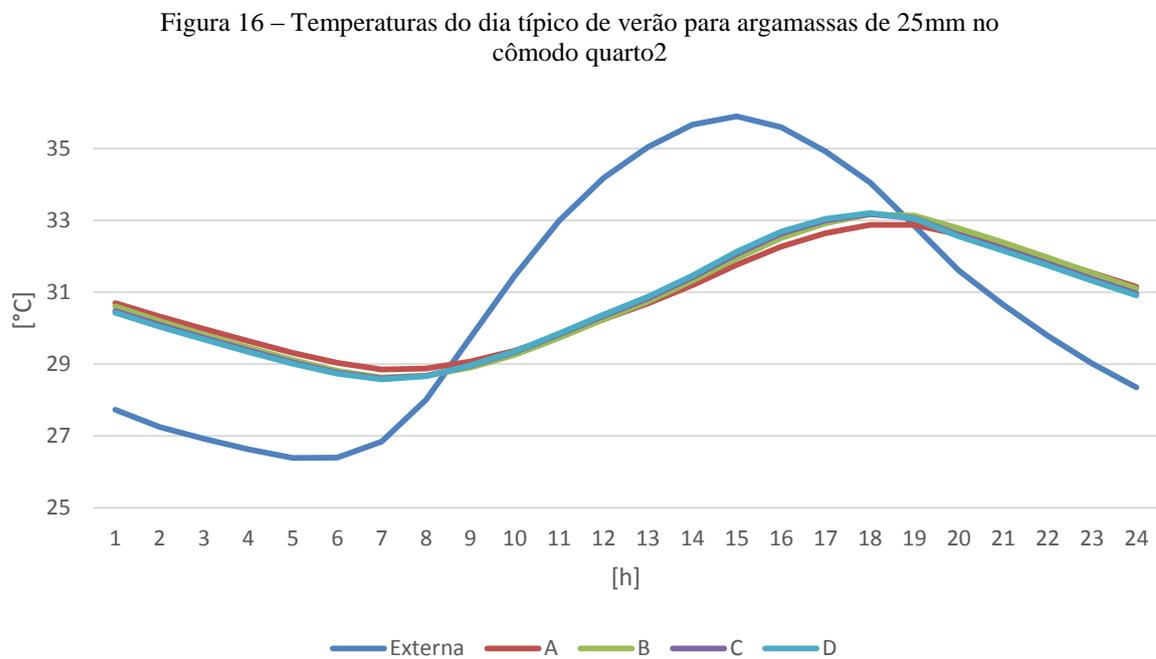
Apesar das temperaturas máximas ficarem bem próximas umas das outras, nota-se uma tendência de aquecimento quando trocadas a argamassa comum pelas com propriedades térmicas.

Com o aumento da espessura, notamos uma tendência de redução da temperatura máxima da zona, obtendo a maior diferença entre as espessuras 25mm e 40mm da argamassa B.

O melhor desempenho apresentado na simulação, foi usando a argamassa A, com espessura de 40mm, que obteve a menor temperatura máxima, de 32,578°C.

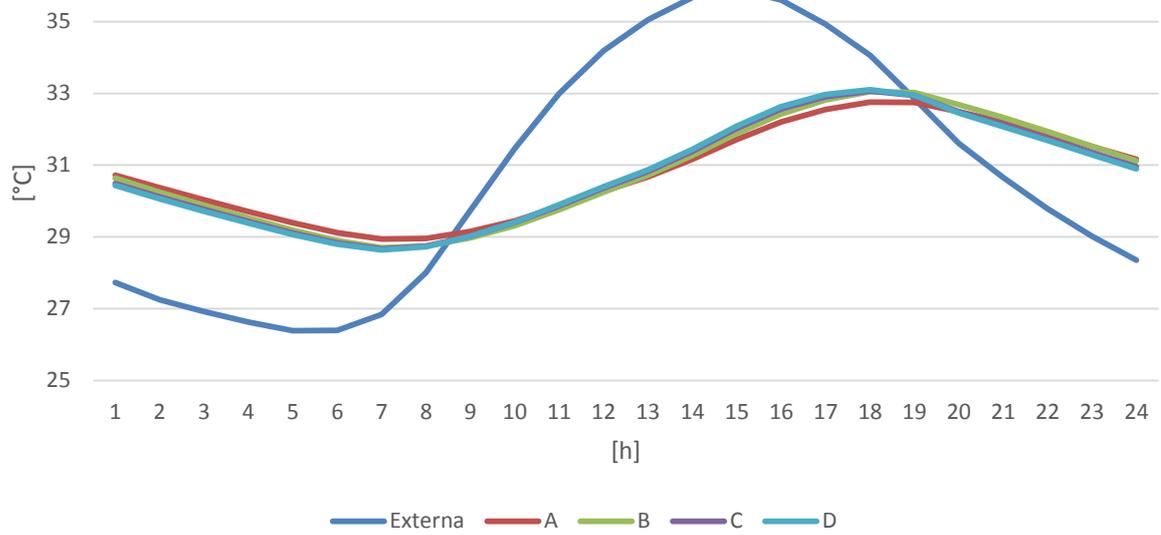
As figuras 16, 17 e 18 graficam a variação da temperatura externa e da interna e os resultados para as diferentes espessuras usadas na simulação do dia típico de verão, no Quarto2. A maior diferença de temperatura máxima acontece entre as argamassas A e D nas espessuras de 25mm e 40mm, respectivamente, onde foi encontrada uma diferença de 0,627 °C.

Os dados completos da simulação do dia típico de verão para os cômodos da sala e quarto2 podem ser vistos no apêndice B.



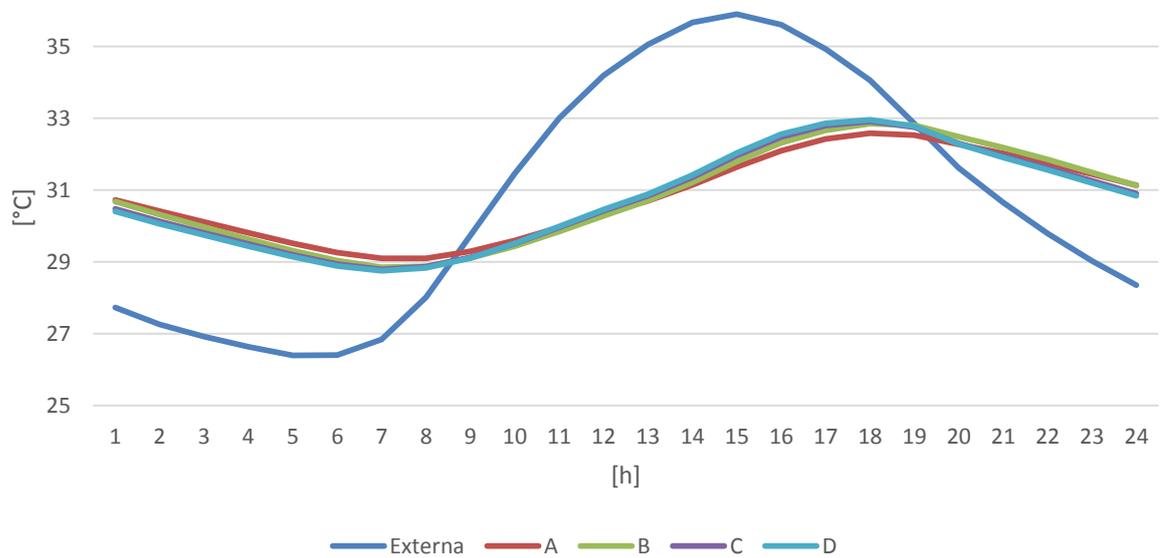
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 17 – Temperaturas do dia típico de verão para argamassas de 30mm no cômodo quarto2



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 18 – Temperaturas do dia típico de verão para argamassas de 40mm no cômodo quarto2



(fonte: elaborado pelo autor)

## 6.8 CONCLUSÕES

Após a simulação e análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que para esta edificação simulada, a troca da argamassa de revestimento tradicional para as que apresentam propriedades térmicas não surtiu efeito suficiente para elevar o nível de desempenho térmico da edificação, do ponto de vista da Norma de Desempenho. Todas as argamassas com propriedades térmicas mantiveram o mesmo desempenho que a argamassa comum, segundo a NBR 15.575-1:2013: intermediário para o verão e mínimo para o inverno.

O resultado obtido, com a simulação, não foi o esperado, pois imaginava-se que a melhora do conforto térmico seria algo muito mais perceptível. Talvez o problema não esteja nas argamassas estudadas em si, pois é notável que elas possuem suas propriedades térmicas melhores que as tradicionais, principalmente a condutividade térmica ( $\lambda = 0,62; 0,20$  e  $0,16$  contra  $1,15$ ), mas talvez o modo com que a norma 15.575-1:2013 estipula a simulação. Como a edificação foi concebida exclusivamente para o trabalho, não havia uma orientação solar definida para ela, não foi levado em conta o sombreamento causado por árvores, edificações vizinhas ou persianas, foram deixados de lado todos os equipamentos elétricos que a casa iria possuir e, principalmente o modo de como a casa é ocupada pelos moradores.

Alguns trabalhos já foram publicados, como o de Sorgato et al. (2014), mostrando esta limitação da Norma de Desempenho, tanto no método simplificado quanto no método de simulação. Começando pela definição dos dias típicos de verão e inverno, que são dias com temperaturas extremas que acontecem algumas vezes durante anos e nas suas configurações, onde vários dados importantes ficam de fora como o dia do ano em que ocorre o dia típico, velocidade ou direção do vento. Sorgato et al. (2014) propõem um novo método de simulação que avalia o ano inteiro, pois “através da simulação anual, é possível avaliar adequadamente as estratégias bioclimáticas para o clima que a edificação está inserida [...]” (SORGATO et al., 2014, p. 19) e, ao invés de utilizar os picos de temperatura no interior da edificação seriam utilizados graus-hora de resfriamento e aquecimento. Esta nova proposta também leva em conta que o “desempenho térmico de edificações residenciais deve ser avaliado levando em consideração a realidade de uso, com as cargas internas de ocupação e iluminação, e a estratégia de ventilação conforme os hábitos culturais da região” (SORGATO et al., 2014, p. 19).

Os resultados obtidos parecem invalidar o uso destas argamassas em edificações, porém vale ressaltar que qualquer edificação existente ou simulada terá uma situação de fluxo térmico

única. No exemplo simulado, tem-se uma grande influência do solo e da cobertura na temperatura interna na casa, principalmente por ser térrea e com nenhuma sombra incidindo sobre nela. Um apartamento de andar mediano, por exemplo, irá ter uma participação das paredes externas muito maior do que em relação ao piso e forro, como também em edificação que possuam subsolo.

Em termos de custo, também é necessário avaliar se a utilização destas argamassas valem a pena, visto que, um saco de argamassa com propriedades térmica chega a custar cerca de duas ou três vezes mais que o de uma argamassa comum.

Acredita-se que se a simulação tivesse partido de um projeto real, da qual gostaria de avaliar se valeria a pena utilizar esse tipo de argamassa, o resultado seria mais satisfatório, tanto para os moradores que se beneficiariam com a melhora, quanto para o estudo do real desempenho destas novas argamassas, que encontramos no mercado atualmente.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer das simulações e testes deste trabalho confirmou-se que a troca das argamassas comuns pelas com propriedades térmicas não elevam o nível desempenho térmico da edificação. Contudo, uma análise de caso deve ser feita antes de sua utilização em edificações. Isolar demais uma edificação termicamente melhora o desempenho térmico no inverno, porém no verão o conforto é comprometido pelo aumento de temperatura que este isolamento produz. Avaliar onde será aplicada e otimizar junto com outras formas de controle de temperatura, como janelas ou condicionadores de ar, é a melhor opção para aproveitar o desempenho térmico dessas argamassas.

Que este trabalho sirva como base para avaliação e melhora das propriedades das argamassas presentes no mercado e, sobre a metodologia de avaliação adotada pela Norma de Desempenho, em novos estudos sobre este mesmo material construtivo.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, I. D. de. Minha casa minha vida dá impulso ao crédito. **Câmara Brasileira da Indústria da Construção**, Brasília, 28 mar. 2014. Não paginado. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticia/minha-casa-minha-vida-da-impulso-ao-credito>>. Acesso em: 8 out. 2014.
- AKUTSU, M.; YAMAZOE, G. (Coord.) Apresentação. In: SEMINÁRIO HABITAÇÃO: DESEMPENHO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT; ABJICA -SP; JICA, 2005. p. 2-6. 1 CD.
- ALMEIDA, H. Jr.; LOPEZ, I. J.; MARTINS, J. M.; SABBATINI, F. H. Avaliação das características de revestimentos produzidos com argamassas industrializadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, n. 1, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Escola de Engenharia Civil – UFG; ANTAC, 1995. p. 236-246.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9230**: Vermiculita expandida – especificação. Rio de Janeiro, 1986.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13281**: argamassas para assentamento e revestimento de paredes e teto – requisitos. Rio de Janeiro, 2005a.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-2**: 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. Rio de Janeiro, 2005b.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13529**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – terminologia. Rio de Janeiro, 2013a.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – especificação. Rio de Janeiro, 2013b.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais – desempenho parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013c.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575-4**: edificações habitacionais – desempenho parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013d.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575-5**: edificações habitacionais – desempenho parte 5: requisitos para sistemas de cobertura. Rio de Janeiro, 2013e.
- AUDY, J. L. N. A inovação como base da sociedade do conhecimento. **Anuário Análise**, Porto Alegre, Ed. 2006-2007, p. 37, [2006].

BAÍÁ, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. 4 ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2002.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G. de. Materiais constituintes e suas funções. In: BAUER, E. (Ed.). **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: LEM-Unb; Sinduscon, 2005. p. 25-36.

BORGES, C. A. de. M. **O conceito de desempenho de edificações e sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. 265 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Feirão Caixa da casa própria: **Problemas envolvem o programa minha casa minha vida em Uberlândia MG**. Brasília, 2012. Não paginado. Disponível em: <<http://www.feiraodacaixa2013br.com.br/problemas-envolvem-programa-casa-vida-uberlandia-mg>>. Acesso em: 8 out. 2014.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. 2 ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

DOMUS - ELETROBRÁS, Versão 2.3.1. [S. l.]: APC/PUCPr, 2014. Disponível em: <[http://domus.pucpr.br/](http://http://domus.pucpr.br/)>. Acesso em: 8 abril 2015.

FAPESP. **Pozolanas: o mapa da mina**. São Paulo, Ed. 60. p. 1-3, dez. 2000. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2000/12/01/pozolanas-o-mapa-da-mina/>>. Acesso em: 19 nov. 2014.

GONÇALVES, O. M., JOHN, V. M., PICCHI, F. A., SATO, N. M. N. Normas técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitações. In: ROMAN, H., BONIN, L. C. (Ed.). **Normalização e certificação na construção habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003. Coletânea HABITARE, v. 3. p. 42-53.

GUIMARÃES, D; CABRAL, P. **Significado de tecnologia**. Porto, 2014. Não paginado. Disponível em: <<http://www.significados.com.br/tecnologia-2/>>. Acesso em: 9 out. 2014.

HORNE, C. F. **Ancient History Sourcebook**: Code of Hammurabi, c. 1780 BCE. New York, 2014. Não paginado. Disponível em: <<http://www.fordham.edu/halsall/ancient/hamcode.asp>>. Acesso em: 25 out. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **O estado de S. Paulo (SP): déficit habitacional**. Brasília, 2013a. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20989&catid=159&Itemid=75](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=20989&catid=159&Itemid=75)>. Acesso em: 8 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Nota técnica estima o déficit habitacional brasileiro**. Brasília, 2013b. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=18179](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=18179)>. Acesso em: 8 nov. 2014.

JOBIM, M. S. S. Satisfação do cliente na construção civil. In: ARAÚJO, N. M. C. de. (Org.). **Construção civil: uma abordagem macro da produção ao uso**. João Pessoa: IFPB: Sinduscon-JP, 2010. p. 233 - 256.

LAMBERTS, R.;XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCHI, R. de. **Conforto e stress térmico**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

LARA, D.; NASCIMENTO, O.; MACEDO, A.; GALLO, G.; PEREIRA, L.; POTY, E. Dosagem das argamassas In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, n. 1, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL – UFG; ANTAC, 1995. p. 63-72.

LIMA, B. 1,51 milhão de unidades entregues desde 2009. **Portal Brasil**, Brasília, 27 jul. 2012. Não paginado. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/old/imagens/galeria-pac/minha-casa-minha-vida/minha-casa-minha-vida-10/view>>. Acesso em: 8 nov. 2014.

MARTINS NETO, A. A. A.; DJANIKIAN, J. G. **Aspectos de desempenho da argamassa dosada em central**. São Paulo: EPUSP, 1999. Boletim Técnico PCC n. 235.

MARTINS, M. G. **A inovação tecnológica na produção de edifícios impulsionada pela indústria de materiais e componentes**. 2004. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL EM MINAS GERAIS. **MPF pede reparos urgentes em imóveis do programa minha casa, minha vida**: residências foram entregues aos moradores com graves defeitos de construção, como falta de portas, de fiação elétrica, de pias e vasos sanitários. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<http://www.prmg.mpf.mp.br/imprensa/noticias/consumidor-e-ordem-economica/mpf-pede-reparos-urgentes-em-imoveis-do-programa-minha-casa-minha-vida>>. Acesso em: 9 out. 2014.

MONTEIRO FILHA, D. C.; COSTA, A. C. R. da.; ROCHA, É. R. P. da. Perspectivas e desafios para inovar na construção civil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 31. p. 353-410, [2010].

NETTO, R. M. **Materiais Pozolânicos**. 2006. 149 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PINIWEB. **Está em vigor a NBR 15.575 – Norma de Desempenho**. São Paulo, 2013. Não paginado. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/habitacao/esta-em-vigor-a-nbr-15575-norma-de-desempenho-292738-1.aspx>>. Acesso em: 8 out. 2014.

PORTAL BRASIL. **FVG divulga projeção sobre setor de habitação**. Brasília, 06 nov. 2014. Não paginado. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/11/fgv-divulga-projecao-sobre-setor-de-habitacoes>>. Acesso em: 22 maio 2015.

PORTAL BRASIL. **Publicado decreto que regulamenta alterações no programa minha casa, minha vida**. Brasília, 28 ago. 2012. Não paginado. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2012/08/publicado-decreto-que-regulamenta-alteracoes-em-programa-de-habitacao>>. Acesso em: 8 out. 2014.

PORTO. Língua Portuguesa com Acordo Ortográfico. **Micaxisto**. Porto: Porto Editora, 2015. Disponível em: <[http://www.infopedia.pt/\\$micaxisto](http://www.infopedia.pt/$micaxisto)>. Acesso em: 26 abril 2015.

RORIZ, M. **Labeee**: Arquivos climáticos em formato epw. Curitiba, UFSC, 2015. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>. Acesso em: 8 abril 2015.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SANTOS, E. V. do. **Adsorção de Mn (II) e Zn (II) em soluções aquosas usando perlita expandida revestida com quitosana**. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte –, Natal, 2011.

SCHMIDT, D. S. **Inovação tecnológica e atividades econômicas no Brasil: análise comparativa a partir dos dados da PINTEC (1998-2008)**. 2012. 69 f. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SILOCCHI, P. R. **Motivação à inovação de produtos: um estudo nas empresas industriais metal-mecânicas de Caxias do Sul**. 2002. 98 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SILVA, L. L. R. da.; SOUZA, U. E. L. de.; LIBRAIS, C. F. Previsão de produtividade na execução de contrapisos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS n. 4, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: Universidade de Brasília; ENC, 2001. p. 565-575.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575**. Paranoá, Brasília, no 12, p. 13-22, 2014.

SOUZA, A. L. R. de.; BARROS, M. M. B.; MELHADO, S. B. **Projeto e inovação tecnológica na construção de edifícios: implantação no processo tradicional e em processos inovadores**. São Paulo: EPUSP, 1995. Boletim Técnico PCC n. 145.

STEIN, T. S. **Impacto das soluções de arquitetura e climatização no consumo de energia de uma edificação**. 2011. 20 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

SZLAK, B.; TANIGUTI, E.; NAKAKURA, E.; MOTA, E.; BOTTURA, M.; FRIGIERI, V. **Manual de revestimento de argamassa**. São Paulo: ABCP. [2002].

UNITED STATES. Department of Energy. **EnergyPlus**: energy simulation software. Washington DC, 2015. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 8 abril 2015.

VELOSO, A. C. de. O. **Análise comparativa do desempenho dos programas domus e energyplus**. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

VERMICULITA ISOLANTES. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <tobias.carraro@cyrelasul.com.br> em 11 set. 2014.

VILLANOVA, B. Moradores de condomínios do minha casa, minha vida relatam problemas nos prédios, em Jaraguá do Sul. **A Notícia Jaraguá**, Jaraguá do Sul, 13 mar. 2014. p. 2. Disponível em: <<http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/geral/an-jaragua/noticia/2014/03/moradores-de-condominios-do-minha-casa-minha-vida-relatam-problemas-nos-predios-em-jaragua-do-sul-4444886.html>>. Acesso em: 10 out. 2014.

VITTORINO, F. Desempenho Térmico e luminoso de edifícios habitacionais: discussão da proposta de normalização para habitações de até 5 pavimento. In: SEMINÁRIO HABITAÇÃO: DESEMPENHO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT; ABJICA – SP; JICA, 2005. p. 7-16. 1 CD.

YURIKO, J. **Arquitetura bioclimática** – zona bioclimática. Florianópolis, 2012. Não paginado. Disponível em: <<http://blog.giacomelli.com.br/2012/05/30/arquitetura-bioclimatica-zona-bioclimatica/>>. Acesso em: 4 set. 2014.

ZIGMANTAS, L. G. de. M. Expectativa da Caixa quanto à implantação das normas de desempenho de edifícios até 5 pavimentos. In: SEMINÁRIO HABITAÇÃO: DESEMPENHO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT; ABJICA – SP; JICA, 2005. p. 57-66 1 CD.

**APÊNDICE A – RESULTADOS COMPLETOS DA SIMULAÇÃO  
TÉRMICA DO DIA TÍPICO DE INVERNO PARA OS  
CÔMODOS SALA E QUARTO2**

**DIA TÍPICO DE INVERNO - Argamassas 25mm**

	Externa	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>MÁXIMO</b>	<b>12,900</b>	<b>11,542</b>	<b>11,647</b>	<b>11,779</b>	<b>11,542</b>	<b>11,491</b>	<b>11,652</b>	<b>11,780</b>	<b>11,833</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>4,383</b>	<b>9,104</b>	<b>9,022</b>	<b>9,121</b>	<b>9,104</b>	<b>9,188</b>	<b>9,060</b>	<b>9,205</b>	<b>9,239</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>8,288</b>	<b>10,264</b>	<b>10,271</b>	<b>10,377</b>	<b>10,264</b>	<b>10,291</b>	<b>10,295</b>	<b>10,416</b>	<b>10,453</b>

25mm		Sala				Quarto2			
Data/Hora	Externa	A	B	C	D	A	B	C	D
07/21 01:00:00	5,581	10,116	10,104	10,164	10,116	10,310	10,279	10,352	10,369
07/21 02:00:00	5,154	9,910	9,887	9,945	9,910	10,099	10,054	10,127	10,145
07/21 03:00:00	4,855	9,722	9,686	9,745	9,722	9,904	9,844	9,919	9,937
07/21 04:00:00	4,597	9,539	9,488	9,555	9,539	9,715	9,632	9,721	9,739
07/21 05:00:00	4,383	9,359	9,296	9,371	9,359	9,524	9,424	9,526	9,548
07/21 06:00:00	4,389	9,206	9,134	9,216	9,206	9,355	9,241	9,356	9,381
07/21 07:00:00	4,783	9,108	9,030	9,121	9,108	9,232	9,109	9,237	9,267
07/21 08:00:00	5,829	9,104	9,022	9,126	9,104	9,188	9,060	9,205	9,239
07/21 09:00:00	7,380	9,233	9,158	9,284	9,233	9,250	9,128	9,300	9,344
07/21 10:00:00	8,925	9,461	9,403	9,553	9,461	9,386	9,284	9,483	9,536
07/21 11:00:00	10,299	9,773	9,742	9,905	9,773	9,597	9,530	9,743	9,805
07/21 12:00:00	11,366	10,155	10,156	10,325	10,155	9,887	9,866	10,078	10,144
07/21 13:00:00	12,137	10,547	10,581	10,757	10,547	10,230	10,256	10,462	10,530
07/21 14:00:00	12,692	10,926	10,991	11,169	10,926	10,617	10,694	10,894	10,964
07/21 15:00:00	12,900	11,251	11,340	11,512	11,251	11,000	11,122	11,317	11,387
07/21 16:00:00	12,633	11,465	11,568	11,724	11,465	11,303	11,452	11,631	11,697
07/21 17:00:00	12,029	11,542	11,647	11,779	11,542	11,473	11,647	11,780	11,833
07/21 18:00:00	11,252	11,488	11,581	11,688	11,488	11,491	11,652	11,729	11,763
07/21 19:00:00	10,170	11,314	11,390	11,475	11,314	11,395	11,530	11,579	11,600
07/21 20:00:00	9,057	11,056	11,121	11,194	11,056	11,211	11,315	11,357	11,374
07/21 21:00:00	8,200	10,834	10,889	10,957	10,834	11,015	11,091	11,141	11,157
07/21 22:00:00	7,426	10,621	10,661	10,725	10,621	10,813	10,861	10,916	10,932
07/21 23:00:00	6,741	10,406	10,430	10,491	10,406	10,603	10,623	10,684	10,699
07/21 24:00:00	6,139	10,194	10,203	10,263	10,194	10,391	10,388	10,453	10,469

(fonte: elaborado pelo autor)

**DIA TÍPICO DE INVERNO - Argamassas 30mm**

	Externa	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>MÁXIMO</b>	<b>12,900</b>	<b>11,517</b>	<b>11,627</b>	<b>11,778</b>	<b>11,829</b>	<b>11,427</b>	<b>11,592</b>	<b>11,751</b>	<b>11,813</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>4,383</b>	<b>9,152</b>	<b>9,071</b>	<b>9,175</b>	<b>9,195</b>	<b>9,268</b>	<b>9,140</b>	<b>9,299</b>	<b>9,334</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>8,288</b>	<b>10,276</b>	<b>10,287</b>	<b>10,406</b>	<b>10,440</b>	<b>10,307</b>	<b>10,315</b>	<b>10,453</b>	<b>10,493</b>

30mm		Sala				Quarto2			
Data/Hora	Externa	A	B	C	D	A	B	C	D
07/21 01:00:00	5,581	10,129	10,123	10,196	10,213	10,334	10,313	10,398	10,418
07/21 02:00:00	5,154	9,928	9,908	9,980	9,998	10,131	10,091	10,181	10,201
07/21 03:00:00	4,855	9,742	9,712	9,783	9,800	9,940	9,887	9,978	9,999
07/21 04:00:00	4,597	9,563	9,521	9,594	9,611	9,755	9,688	9,781	9,803
07/21 05:00:00	4,383	9,391	9,335	9,413	9,430	9,577	9,488	9,593	9,614
07/21 06:00:00	4,389	9,244	9,176	9,264	9,281	9,419	9,312	9,434	9,457
07/21 07:00:00	4,783	9,152	9,076	9,175	9,195	9,305	9,185	9,324	9,353
07/21 08:00:00	5,829	9,153	9,071	9,184	9,209	9,268	9,140	9,299	9,334
07/21 09:00:00	7,380	9,285	9,208	9,346	9,378	9,335	9,209	9,399	9,444
07/21 10:00:00	8,925	9,511	9,450	9,615	9,656	9,469	9,360	9,581	9,637
07/21 11:00:00	10,299	9,816	9,779	9,962	10,011	9,670	9,591	9,832	9,897
07/21 12:00:00	11,366	10,185	10,180	10,370	10,424	9,939	9,904	10,148	10,219
07/21 13:00:00	12,137	10,563	10,591	10,790	10,850	10,257	10,269	10,507	10,582
07/21 14:00:00	12,692	10,928	10,989	11,191	11,253	10,617	10,682	10,914	10,993
07/21 15:00:00	12,900	11,240	11,329	11,523	11,586	10,974	11,091	11,315	11,394
07/21 16:00:00	12,633	11,445	11,551	11,728	11,787	11,261	11,411	11,615	11,689
07/21 17:00:00	12,029	11,517	11,627	11,778	11,829	11,424	11,588	11,751	11,813
07/21 18:00:00	11,252	11,463	11,565	11,686	11,727	11,427	11,592	11,690	11,733
07/21 19:00:00	10,170	11,295	11,377	11,477	11,509	11,335	11,480	11,543	11,572
07/21 20:00:00	9,057	11,039	11,111	11,196	11,224	11,159	11,280	11,333	11,355
07/21 21:00:00	8,200	10,821	10,885	10,965	10,989	10,980	11,076	11,134	11,154
07/21 22:00:00	7,426	10,614	10,663	10,738	10,760	10,795	10,862	10,925	10,943
07/21 23:00:00	6,741	10,405	10,438	10,510	10,530	10,600	10,638	10,706	10,724
07/21 24:00:00	6,139	10,200	10,217	10,287	10,305	10,401	10,413	10,486	10,504

(fonte: elaborado pelo autor)

**DIA TÍPICO DE INVERNO - Argamassas 40mm**

	Externa	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>MÁXIMO</b>	<b>12,900</b>	<b>11,386</b>	<b>11,598</b>	<b>11,787</b>	<b>11,848</b>	<b>11,252</b>	<b>11,514</b>	<b>11,724</b>	<b>11,800</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>4,383</b>	<b>9,093</b>	<b>9,154</b>	<b>9,258</b>	<b>9,278</b>	<b>9,272</b>	<b>9,280</b>	<b>9,450</b>	<b>9,481</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>8,288</b>	<b>10,189</b>	<b>10,317</b>	<b>10,460</b>	<b>10,497</b>	<b>10,224</b>	<b>10,352</b>	<b>10,520</b>	<b>10,565</b>

40mm		Sala				Quarto2			
Data/Hora	Externa	A	B	C	D	A	B	C	D
07/21 01:00:00	5,581	10,005	10,154	10,245	10,266	10,216	10,366	10,467	10,489
07/21 02:00:00	5,154	9,815	9,947	10,038	10,058	10,034	10,158	10,265	10,287
07/21 03:00:00	4,855	9,641	9,755	9,848	9,867	9,860	9,961	10,075	10,098
07/21 04:00:00	4,597	9,471	9,570	9,664	9,683	9,688	9,768	9,889	9,913
07/21 05:00:00	4,383	9,305	9,393	9,488	9,507	9,519	9,583	9,708	9,733
07/21 06:00:00	4,389	9,169	9,246	9,342	9,361	9,374	9,426	9,554	9,580
07/21 07:00:00	4,783	9,093	9,154	9,258	9,278	9,284	9,313	9,455	9,482
07/21 08:00:00	5,829	9,109	9,157	9,279	9,301	9,272	9,280	9,450	9,481
07/21 09:00:00	7,380	9,254	9,300	9,450	9,481	9,356	9,357	9,565	9,607
07/21 10:00:00	8,925	9,487	9,541	9,724	9,764	9,498	9,506	9,753	9,808
07/21 11:00:00	10,299	9,788	9,859	10,067	10,117	9,694	9,721	9,997	10,064
07/21 12:00:00	11,366	10,144	10,239	10,461	10,518	9,942	10,000	10,291	10,367
07/21 13:00:00	12,137	10,502	10,628	10,865	10,929	10,225	10,323	10,616	10,699
07/21 14:00:00	12,692	10,845	11,003	11,246	11,315	10,543	10,692	10,984	11,073
07/21 15:00:00	12,900	11,137	11,323	11,560	11,631	10,859	11,061	11,343	11,436
07/21 16:00:00	12,633	11,325	11,530	11,749	11,817	11,108	11,354	11,609	11,697
07/21 17:00:00	12,029	11,386	11,598	11,787	11,848	11,252	11,514	11,724	11,800
07/21 18:00:00	11,252	11,329	11,535	11,689	11,739	11,250	11,499	11,650	11,708
07/21 19:00:00	10,170	11,167	11,356	11,481	11,521	11,147	11,392	11,493	11,535
07/21 20:00:00	9,057	10,923	11,093	11,204	11,238	10,980	11,208	11,289	11,324
07/21 21:00:00	8,200	10,706	10,873	10,976	11,007	10,818	11,032	11,111	11,140
07/21 22:00:00	7,426	10,507	10,662	10,758	10,785	10,656	10,846	10,925	10,951
07/21 23:00:00	6,741	10,309	10,447	10,538	10,562	10,486	10,646	10,728	10,752
07/21 24:00:00	6,139	10,115	10,236	10,323	10,345	10,311	10,442	10,529	10,551

(fonte: elaborado pelo autor)

**APÊNDICE B – RESULTADOS COMPLETOS DA SIMULAÇÃO  
TÉRMICA DO DIA TÍPICO DE VERÃO PARA OS  
CÔMODOS SALA E QUARTO2**

**DIA TÍPICO DE VERÃO - Argamassas 25mm**

	Externa	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>MÁXIMO</b>	<b>35,900</b>	<b>32,562</b>	<b>32,714</b>	<b>32,702</b>	<b>32,710</b>	<b>32,882</b>	<b>33,169</b>	<b>33,179</b>	<b>33,205</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>26,393</b>	<b>28,392</b>	<b>28,234</b>	<b>28,182</b>	<b>28,158</b>	<b>28,853</b>	<b>28,632</b>	<b>28,598</b>	<b>28,574</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>30,752</b>	<b>30,538</b>	<b>30,529</b>	<b>30,491</b>	<b>30,480</b>	<b>30,796</b>	<b>30,792</b>	<b>30,767</b>	<b>30,760</b>

25mm		Sala				Quarto2			
Data/Hora	Externa	A	B	C	D	A	B	C	D
01/21 01:00:00	27,730	30,107	30,033	29,911	29,868	30,699	30,607	30,483	30,433
01/21 02:00:00	27,254	29,744	29,644	29,530	29,487	30,327	30,201	30,092	30,046
01/21 03:00:00	26,919	29,408	29,286	29,180	29,139	29,976	29,822	29,729	29,686
01/21 04:00:00	26,631	29,087	28,946	28,850	28,810	29,639	29,461	29,383	29,343
01/21 05:00:00	26,393	28,780	28,620	28,533	28,496	29,316	29,116	29,051	29,016
01/21 06:00:00	26,399	28,518	28,353	28,278	28,245	29,034	28,817	28,764	28,732
01/21 07:00:00	26,839	28,392	28,234	28,182	28,158	28,853	28,632	28,598	28,574
01/21 08:00:00	28,007	28,569	28,433	28,427	28,417	28,877	28,678	28,677	28,665
01/21 09:00:00	29,738	28,949	28,846	28,871	28,872	29,078	28,909	28,960	28,963
01/21 10:00:00	31,463	29,449	29,392	29,427	29,436	29,379	29,258	29,341	29,359
01/21 11:00:00	32,996	30,048	30,033	30,080	30,096	29,796	29,734	29,828	29,856
01/21 12:00:00	34,188	30,634	30,663	30,722	30,744	30,250	30,246	30,344	30,379
01/21 13:00:00	35,049	31,147	31,221	31,287	31,314	30,689	30,746	30,837	30,876
01/21 14:00:00	35,668	31,597	31,710	31,768	31,797	31,203	31,321	31,422	31,467
01/21 15:00:00	35,900	32,012	32,149	32,200	32,228	31,771	31,947	32,074	32,130
01/21 16:00:00	35,602	32,321	32,471	32,509	32,533	32,276	32,511	32,635	32,693
01/21 17:00:00	34,927	32,500	32,652	32,670	32,687	32,646	32,926	33,001	33,048
01/21 18:00:00	34,060	32,562	32,714	32,702	32,710	32,877	33,169	33,179	33,205
01/21 19:00:00	32,852	32,439	32,569	32,518	32,512	32,882	33,138	33,062	33,060
01/21 20:00:00	31,610	32,089	32,173	32,074	32,050	32,610	32,778	32,601	32,560
01/21 21:00:00	30,654	31,715	31,769	31,651	31,618	32,292	32,393	32,208	32,156
01/21 22:00:00	29,790	31,334	31,352	31,227	31,189	31,928	31,971	31,801	31,747
01/21 23:00:00	29,025	30,943	30,926	30,799	30,758	31,544	31,534	31,380	31,327
01/21 24:00:00	28,353	30,558	30,509	30,385	30,343	31,158	31,101	30,965	30,913

(fonte: elaborado pelo autor)

**DIA TÍPICO DE VERÃO - Argamassas 30mm**

	Externa	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>MÁXIMO</b>	<b>35,900</b>	<b>32,503</b>	<b>32,659</b>	<b>32,650</b>	<b>32,661</b>	<b>32,753</b>	<b>33,047</b>	<b>33,067</b>	<b>33,102</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>26,393</b>	<b>28,448</b>	<b>28,276</b>	<b>28,219</b>	<b>28,191</b>	<b>28,941</b>	<b>28,706</b>	<b>28,670</b>	<b>28,640</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>30,752</b>	<b>30,536</b>	<b>30,526</b>	<b>30,483</b>	<b>30,471</b>	<b>30,793</b>	<b>30,789</b>	<b>30,758</b>	<b>30,750</b>

30mm		Sala				Quarto2			
Data/Hora	Externa	A	B	C	D	A	B	C	D
01/21 01:00:00	27,730	30,123	30,051	29,914	29,866	30,724	30,642	30,491	30,434
01/21 02:00:00	27,254	29,770	29,671	29,541	29,494	30,369	30,249	30,117	30,063
01/21 03:00:00	26,919	29,443	29,319	29,200	29,154	30,034	29,880	29,767	29,717
01/21 04:00:00	26,631	29,130	28,985	28,876	28,832	29,708	29,527	29,433	29,386
01/21 05:00:00	26,393	28,829	28,664	28,567	28,525	29,394	29,189	29,112	29,069
01/21 06:00:00	26,399	28,573	28,396	28,312	28,275	29,119	28,894	28,833	28,795
01/21 07:00:00	26,839	28,448	28,276	28,219	28,191	28,941	28,706	28,670	28,640
01/21 08:00:00	28,007	28,617	28,473	28,463	28,452	28,955	28,747	28,745	28,729
01/21 09:00:00	29,738	28,995	28,883	28,903	28,900	29,159	28,980	29,023	29,020
01/21 10:00:00	31,463	29,482	29,412	29,450	29,457	29,452	29,314	29,400	29,416
01/21 11:00:00	32,996	30,061	30,035	30,087	30,103	29,847	29,764	29,870	29,898
01/21 12:00:00	34,188	30,628	30,650	30,712	30,736	30,272	30,248	30,361	30,398
01/21 13:00:00	35,049	31,125	31,193	31,263	31,292	30,679	30,718	30,824	30,867
01/21 14:00:00	35,668	31,566	31,667	31,737	31,769	31,167	31,273	31,386	31,436
01/21 15:00:00	35,900	31,967	32,100	32,160	32,191	31,712	31,887	32,023	32,084
01/21 16:00:00	35,602	32,267	32,419	32,462	32,490	32,205	32,429	32,567	32,631
01/21 17:00:00	34,927	32,443	32,601	32,621	32,641	32,550	32,818	32,911	32,965
01/21 18:00:00	34,060	32,503	32,659	32,650	32,661	32,753	33,047	33,067	33,102
01/21 19:00:00	32,852	32,377	32,516	32,463	32,460	32,749	33,019	32,943	32,948
01/21 20:00:00	31,610	32,035	32,131	32,023	32,001	32,490	32,680	32,490	32,453
01/21 21:00:00	30,654	31,675	31,740	31,609	31,576	32,203	32,329	32,120	32,068
01/21 22:00:00	29,790	31,310	31,338	31,198	31,158	31,874	31,941	31,742	31,685
01/21 23:00:00	29,025	30,934	30,925	30,782	30,738	31,522	31,531	31,348	31,290
01/21 24:00:00	28,353	30,564	30,519	30,379	30,333	31,162	31,120	30,956	30,898

(fonte: elaborado pelo autor)

**DIA TÍPICO DE VERÃO - Argamassas 40mm**

	Externa	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>MÁXIMO</b>	<b>35,900</b>	<b>32,403</b>	<b>32,563</b>	<b>32,566</b>	<b>32,585</b>	<b>32,578</b>	<b>32,846</b>	<b>32,908</b>	<b>32,959</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>26,393</b>	<b>28,548</b>	<b>28,357</b>	<b>28,280</b>	<b>28,242</b>	<b>29,093</b>	<b>28,850</b>	<b>28,789</b>	<b>28,746</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>30,752</b>	<b>30,532</b>	<b>30,520</b>	<b>30,468</b>	<b>30,454</b>	<b>30,787</b>	<b>30,782</b>	<b>30,741</b>	<b>30,731</b>

40mm		Sala				Quarto2			
Data/Hora	Externa	A	B	C	D	A	B	C	D
01/21 01:00:00	27,730	30,130	30,070	29,899	29,845	30,727	30,675	30,470	30,403
01/21 02:00:00	27,254	29,799	29,707	29,544	29,489	30,410	30,312	30,128	30,061
01/21 03:00:00	26,919	29,490	29,370	29,218	29,164	30,106	29,967	29,806	29,741
01/21 04:00:00	26,631	29,194	29,049	28,909	28,856	29,807	29,634	29,496	29,434
01/21 05:00:00	26,393	28,907	28,740	28,614	28,562	29,515	29,312	29,196	29,139
01/21 06:00:00	26,399	28,664	28,477	28,366	28,319	29,259	29,030	28,937	28,884
01/21 07:00:00	26,839	28,548	28,357	28,280	28,242	29,093	28,850	28,789	28,746
01/21 08:00:00	28,007	28,707	28,549	28,528	28,508	29,097	28,877	28,860	28,833
01/21 09:00:00	29,738	29,075	28,953	28,955	28,945	29,289	29,105	29,121	29,108
01/21 10:00:00	31,463	29,554	29,462	29,497	29,498	29,590	29,430	29,506	29,510
01/21 11:00:00	32,996	30,106	30,055	30,114	30,128	29,960	29,845	29,959	29,982
01/21 12:00:00	34,188	30,639	30,639	30,712	30,738	30,342	30,282	30,417	30,454
01/21 13:00:00	35,049	31,100	31,155	31,234	31,268	30,700	30,701	30,837	30,884
01/21 14:00:00	35,668	31,522	31,614	31,692	31,728	31,139	31,212	31,357	31,415
01/21 15:00:00	35,900	31,909	32,029	32,106	32,143	31,638	31,791	31,959	32,031
01/21 16:00:00	35,602	32,194	32,334	32,399	32,433	32,094	32,310	32,479	32,555
01/21 17:00:00	34,927	32,352	32,509	32,544	32,573	32,420	32,661	32,793	32,860
01/21 18:00:00	34,060	32,403	32,563	32,566	32,585	32,578	32,846	32,908	32,959
01/21 19:00:00	32,852	32,270	32,417	32,373	32,378	32,530	32,802	32,754	32,777
01/21 20:00:00	31,610	31,928	32,041	31,931	31,916	32,269	32,483	32,298	32,276
01/21 21:00:00	30,654	31,586	31,671	31,526	31,497	32,017	32,180	31,950	31,907
01/21 22:00:00	29,790	31,245	31,293	31,131	31,092	31,740	31,848	31,610	31,555
01/21 23:00:00	29,025	30,896	30,905	30,735	30,688	31,439	31,489	31,258	31,196
01/21 24:00:00	28,353	30,551	30,522	30,351	30,300	31,128	31,121	30,905	30,839

(fonte: elaborado pelo autor)

**ANEXO A – TABELA COM OS REQUISITOS DO USUÁRIO –  
(ISO 6241:1984)**

<b>1) Estabilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistência mecânica a ações estáticas e dinâmicas, tanto individualmente quanto em combinação.</li> <li>• Resistência a impactos, ações abusivas intencionais ou não, ações acidentais, efeitos cíclicos.</li> </ul>
<b>2) Segurança contra o fogo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riscos de irrupção e de difusão de incêndio.</li> <li>• Efeitos psicológicos de fumaça e calor.</li> <li>• Tempo de acionamento de alarme, evacuação e sobrevivência.</li> </ul>
<b>3) Segurança ao uso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segurança relativa a agentes agressivos</li> <li>• Segurança durante movimentação e circulação</li> <li>• Segurança contra a entrada indevida de pessoas e/ou animais.</li> </ul>
<b>4) Estanqueidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vedação contra</li> <li>• Vedação de ar e de gás.</li> <li>• Vedação de poeira e de neve.</li> </ul>
<b>5) Conforto higrotérmico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle de temperatura do ar, da radiação térmica, da velocidade do ar e da umidade relativa</li> <li>• Controles de condensação.</li> </ul>
<b>6) Pureza e qualidade do ar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilação.</li> <li>• Controle de odores.</li> </ul>
<b>7) Conforto acústico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle de ruídos internos e externos (contínuos e/ou intermitentes).</li> <li>• Inteligibilidade sonora.</li> <li>• Tempo de reverberação.</li> </ul>
<b>8) Conforto visuais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iluminação natural e artificial</li> <li>• Luz solar (insolação).</li> <li>• Possibilidade de escuridão.</li> </ul>
<b>9) Conforto tátil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propriedades das superfícies, aspereza, secura, calor, elasticidade.</li> <li>• Proteção contra descargas de eletricidade estática.</li> </ul>
<b>10) Dinâmicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitação de vibrações e acelerações de todo o conjunto</li> <li>• Comodidade dos pedestres nas áreas expostas ao vento.</li> <li>• Facilidade de movimentação (inclinação das rampas, disposição dos degraus de escadas).</li> <li>• Margem de manobras (manipulação de portas, janelas, controle sobre equipamentos, etc.).</li> </ul>
<b>11) Higiene</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalação para cuidados e higiene do corpo humano.</li> <li>• Suprimento de água.</li> <li>• Liberação de águas servidas, materiais servidos e fumaça.</li> <li>• Limitação de emissão de contaminantes.</li> </ul>
<b>12) Durabilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservação (permanência) de desempenho com relação à necessária vida útil de serviços sujeitos à manutenção regular. Conforto de uso do espaço em áreas com vento intenso;</li> <li>• Aspectos do desenho relativos à resistência humana, agilidade, maneabilidade e ergonomia;</li> <li>• Facilidade de movimentos;</li> <li>• Habilidade manual na operação de portas, janelas e controle de equipamentos;</li> </ul>
<b>13) Econômicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos de manutenção, operacionais e de capital.</li> <li>• Custos de demolição.</li> </ul>

(fonte: BORGES, Adaptado, 2008, p. 31-32)

## **ANEXO B – DADOS DE DIAS TÍPICOS DE VERÃO**

<b>Cidade</b>	<b>Temperatura máxima diária °C</b>	<b>Amplitude diária de temperatura °C</b>	<b>Temperatura de bulbo úmido °C</b>	<b>Radiação solar Wh/m<sup>2</sup></b>	<b>Nebulosidade décimos</b>
<b>Aracaju</b>	30,90	5,40	24,90	6 277	6
<b>Belém</b>	33,40	10,50	26,10	4 368	6
<b>Belo Horizonte</b>	32,00	10,30	21,70	4 641	6
<b>Boa Vista</b>	35,30	9,80	25,80		6
<b>Brasília</b>	31,20	12,50	20,90	4 625	4
<b>Campo Grande</b>	33,60	10,00	23,60	5 481	6
<b>Cuiabá</b>	37,80	12,40	24,80	4 972	6
<b>Curitiba</b>	31,40	10,20	21,30	2 774	8
<b>Florianópolis</b>	32,70	6,60	24,40		7
<b>Fortaleza</b>	32,00	6,50	25,10	5 611	5
<b>Goiânia</b>	34,60	13,40	21,00	4 455	4
<b>João Pessoa</b>	30,90	6,10	24,60	5 542	6
<b>Macapá</b>	33,50	9,00	25,80		7
<b>Maceió</b>	32,20	8,20	24,60	5 138	6
<b>Manaus</b>	34,90	9,10	26,40	5 177	7
<b>Natal</b>	32,10	8,00	24,80	6 274	6
<b>Porto Alegre</b>	35,90	9,60	23,90	5 476	5
<b>Porto Velho</b>	34,80	12,50	26,00	6 666	7
<b>Recife</b>	31,40	7,40	24,70	5 105	6
<b>Rio Branco</b>	35,60	12,70	25,40	6 496	7
<b>Rio de Janeiro</b>	35,10	6,40	25,60	5 722	5
<b>Salvador</b>	31,60	6,10	25,00	5 643	5
<b>São Luís</b>	32,50	7,40	25,40	5 124	5
<b>São Paulo</b>	31,90	9,20	21,30	5 180	6
<b>Teresina</b>	37,90	13,20	25,10	5 448	5
<b>Vitória</b>	34,60	7,40	25,90	4 068	5

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 46)

## **ANEXO C –DADOS DE DIAS TÍPICOS DE INVERNO**

<b>Cidade</b>	<b>Temperatura mínima diária °C</b>	<b>Amplitude diária de temperatura °C</b>	<b>Temperatura de bulbo úmido °C</b>	<b>Radiação solar Wh/m<sup>2</sup></b>	<b>Nebulosidade décimos</b>
<b>Aracaju</b>	18,70	5,10	21,50	5 348	6
<b>Belém</b>	20,40	10,00	25,50	4 161	6
<b>Belo Horizonte</b>	8,70	12,60	16,00	3 716	3
<b>Boa Vista</b>	20,70	8,40	24,90		7
<b>Brasília</b>	10,00	12,20	14,80	4 246	3
<b>Campo Grande</b>	13,70	11,50	17,30	4 250	4
<b>Cuiabá</b>	11,40	14,30	20,10	4 163	4
<b>Curitiba</b>	0,70	11,60	11,00	1 666	6
<b>Florianópolis</b>	6,00	7,40	13,40		6
<b>Fortaleza</b>	21,50	7,00	24,00	5 301	5
<b>Goiânia</b>	9,60	14,90	16,20	1 292	3
<b>João Pessoa</b>	19,20	6,50	22,40	4 836	6
<b>Macapá</b>	21,80	6,50	24,90		8
<b>Maceió</b>	17,80	7,50	21,70	4 513	8
<b>Manaus</b>	21,40	7,90	25,00	4 523	7
<b>Natal</b>	19,10	7,80	22,50	5 925	5
<b>Porto Alegre</b>	4,30	8,60	12,10	2 410	6
<b>Porto Velho</b>	14,10	14,10	23,60	6 670	5
<b>Recife</b>	18,80	6,70	22,10	4 562	6
<b>Rio Branco</b>	11,90	14,90	22,10	6 445	6
<b>Rio de Janeiro</b>	15,80	6,30	19,10	4 030	5
<b>Salvador</b>	20,00	5,00	21,70	4 547	5
<b>São Luís</b>	21,50	6,90	24,90	4 490	6
<b>São Paulo</b>	6,20	10,00	13,40	4 418	6
<b>Teresina</b>	18,00	12,60	22,90	5 209	4
<b>Vitória</b>	16,70	6,80	20,40	2 973	5

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 47)