



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI UNIVATES  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA  
PARA FINS DE CONFORTO TÉRMICO**

Marciano Schwarz

Lajeado, dezembro de 2017

Marciano Schwarz

## **DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA PARA FINS DE CONFORTO TÉRMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso - Etapa II,  
do Curso de Engenharia Civil, da  
Universidade Do Vale do Taquari  
UNIVATES, como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientador: Me. Rodrigo Spinelli

Lajeado, dezembro de 2017

Marciano Schwarz

## **DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA PARA FINS DE CONFORTO TÉRMICO**

A Banca examinadora abaixo aprova o Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, da Universidade Do Vale do Taquari UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

### **Banca examinadora:**

Prof. Ms. Marcelo Freitas Ferreira, Univates  
Mestre pela PUCRS, Porto Alegre, Lajeado, Brasil

Prof. Ms. Vagner Gonçalves Wojcickoski, Univates  
Mestre pela UniRitter, Porto Alegre, Brasil

Orientador:

Prof. MS Rodrigo Spineli, UNIVATES  
Mestre pela Univates, Lajeado, Brasil

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. MS. Betina Hansem

Lajeado, dezembro de 2017

## RESUMO

Mudanças climáticas e aquecimento global são fatores que representam desafios para a humanidade. Segundo o Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC), temos atualmente as maiores temperaturas médias globais registradas nos últimos cinco anos, se referindo à temperatura média da superfície, e tendo como principais causas deste fenômeno, os gases de efeito estufa (GEE) lançados na atmosfera. A NBR 15220 (ABNT, 2005) demonstra recomendações para os elementos da envoltória da edificação, se referindo à transmitância térmica mínima de coberturas e paredes externas. As exigências da NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT 2013) instituem que a transmitância térmica de paredes pesadas de vedações externas obtenham eficiência 2,2 (W/m<sup>2</sup>.K), em residências ou edifícios com apartamentos, o que se intitula o conjunto parede/reboco de tijolos maciços como material viável na construção civil. Este estudo apresenta o desenvolvimento de uma argamassa de revestimento, usado para emboço, com a finalidade térmica, baseia-se na introdução de EPS nas dosagens de 20, 25, 30, 35, e 40%, junto a uma argamassa de traço padrão utilizada em obra. As análises foram realizadas no laboratório a fim de garantir as propriedades no seu estado fresco e endurecido. Para a realização desse trabalho será utilizado um traço padrão de argamassa 1.1.5 a partir deste, serão adicionados perceptuais diferentes de perolas de EPS. A argamassa será aplicada ao substrato de tijolo maciço, com a aplicação de chapisco. Com os diferentes percentuais de EPS, buscou-se a melhor dosagem, a fim de obedecer às exigências normativas. Ao final, como acabamento da parede, será aplicada uma camada fina de reboco. Foram realizados testes no seu estado fresco, onde são: Índice de consistência, retenção de água, densidade e teor de ar incorporado. Já no estado endurecido foram realizados os testes de densidade de massa aparente, resistência a compressão e a tração na flexão, absorção de água e coeficiente de capilaridade, potencial de aderência a tração. Todos estes testes são executados para fins de comprovar a eficácia da argamassa, mantendo seus padrões normativos. A argamassa desenvolvida manteve os padrões das normativas brasileiras, o traço definido como ideal foi o traço onde acresce se 40% de perolas de EPS baseando-se no volume de areia..

**Palavras-chave:** EPS, transmitância térmica, condutividade térmica, argamassa, conforto térmico.

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Transmitância térmica.....	17
Equação 2 - Resistência térmica.....	19
Equação 3 - Resistência total.....	20
Equação 4 - Densidade de massa .....	24
Equação 5 - Retenção de água.....	38
Equação 6 - Fator água/argamassa fresca .....	38
Equação 7 - Densidade de massa .....	41
Equação 8 - Teor de ar incorporado na argamassa .....	41
Equação 9 - Densidade de massa teórica para argamassa dosada em obra .....	41
Equação 10 - Volume corpo de prova .....	43
Equação 11 - Resistência à tração na flexão .....	45
Equação 12 - Resistência à compressão .....	46
Equação 13 - Absorção de água por capilaridade.....	48
Equação 14 - Coeficiente de capilaridade.....	48
Equação 15 - Resistência de aderência à tração .....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formas de transferências de calor.....	15
Figura 2 - Estrutura de revestimento .....	25
Figura 3 - Parede com aplicação do chapisco.....	27
Figura 4 - Parede com camada de emboço .....	27
Figura 5 – Bloco cerâmico maciço .....	34
Figura 6 – Mesa de queda .....	35
Figura 7 – Equipamento funil de Bucher .....	37
Figura 8 – teste estado fresco.....	39
Figura 9 – ensaio massa aparente.....	42
Figura 10 – ensaio de resistência à compressão e tração .....	44
Figura 11 – ensaio de coeficiente de capilaridade .....	46
Figura 12 – substrato com chapisco e argamassa aplicada.....	49
Figura 13 – Aparelho utilizado para aplicar carga a tração .....	50
Figura 14 – Equipamento para furar a argamassa .....	50
Figura 15 – tipos de ruptura em substrato sem chapisco.....	51
Figura 16 – tipos de ruptura em substrato com chapisco.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades térmicas dos materiais .....	17
Tabela 2 - Propriedades térmicas dos materiais .....	17
Tabela 3 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa.....	18
Tabela 4 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis conjunto parede reboco .....	18
Tabela 5 - Resistência térmica superficial interna e externa .....	19
Tabela 6 - Exigências mecânicas e reológicas para argamassas .....	23
Tabela 7 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos .....	26
Tabela 8 - Principais tipos de cimento utilizados no Brasil .....	29
Tabela 9 - Propriedades das argamassas e a relação com a granulometria dos agregados.....	30
Tabela 10 – índice de consistência .....	53
Tabela 11 – ensaio de retenção de água .....	55
Tabela 12 – densidade e teor de ar incorporado no estado fresco.....	56
Tabela 13 – densidade da massa aparente no estado endurecido .....	56
Tabela 14 – resistência à tração na flexão .....	57
Tabela 15 – resistência à compressão e a tração na flexão.....	57
Tabela 16 – ensaio de absorção de água .....	58
Tabela 17 – coeficiente de capilaridade .....	58

## **LISTA DE GRAFICOS**

Gráfico 1 – Índice de consistência.....	56
---	----

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

% por cento

< menor

> maior

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM American Society for Testing and Materials

cm centímetros

cm<sup>3</sup> centímetro cúbico

EPS *Expanded PolyStyrene* (Poliestireno Expandido)

GEE gases do efeito estufa

g gramas

IPCC Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

K kelvin

KG kilogramas

m metro

m<sup>2</sup> metro quadrado

m<sup>3</sup> metro cubico

mm milímetros

NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
°C	graus célsius
R	resistência e da externa
R <sub>se</sub>	resistência da superficial externa
R <sub>si</sub>	resistência da superficial interna
R <sub>t</sub>	resistência térmica do material
U	transmitância térmica
V	volume
W	watts
XPS	<i>Xtruded PolyStyrene</i> (Poliestireno Extrudido)

## SUMÁRIO

Resumo	0
1 INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Objetivos .....	12
1.1.1 Objetivos gerais.....	12
1.1.2 Objetivos específicos .....	12
1.2 Justificativa.....	13
1.3 Estrutura da pesquisa.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
2.1 Conforto térmico.....	14
2.2 Isolamento térmico .....	14
2.3 Mecanismo de troca térmica .....	15
2.3.1 Radiação .....	15
2.3.2 Condução .....	16
2.3.3 Convecção .....	16
2.4 Condutividade térmica.....	16
2.5 Transmitância térmica .....	17
2.6 Resistência térmica .....	18
2.7 Argamassa .....	20

2.8 Propriedades das argamassas.....	20
2.8.1 Trabalhabilidade estado fresco.....	20
2.8.2 Retenção de água.....	21
2.8.3 Retração na secagem .....	21
2.8.4 Aderência ao substrato.....	22
2.8.5 Resistência mecânica.....	22
2.8.6 Massa específica e teor de ar incorporado.....	23
2.8.7 Permeabilidade .....	24
2.8.8 Durabilidade .....	24
2.9 Estrutura do revestimento .....	25
2.9.1 Chapisco .....	26
2.9.2 Reboco .....	28
2.10 Materiais componentes da argamassa.....	28
2.10.1 Aglomerantes .....	28
2.10.2 Cimento Portland.....	28
2.10.3 Cal.....	29
2.10.4 Agregado (areias).....	29
2.10.5 Água de amassamento.....	30
2.10.6 Preparo da argamassa .....	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1 Tipo de pesquisa .....	32
3.2 Materiais.....	33
3.2.1 Cal.....	33
3.2.2 Cimento.....	33
3.2.3 Areia.....	33
3.2.4 Água.....	33
3.2.5 Esferas de isopor .....	33

3.2.6 Traço para o desenvolvimento da argamassa.....	34
3.2.7 Blocos cerâmicos .....	34
3.3 Métodos .....	35
3.3.1 Testes a serem realizados na argamassa no estado fresco .....	35
3.3.1.1 Índice de consistência NBR 13276 (ABNT, 2005).....	35
Para a realização do ensaio de consistência foi utilizado a mesa de queda .....	35
3.3.1.2 Retenção de água NBR 13277 (ABNT, 2005).....	37
3.3.1.3 Densidade e teor de ar incorporado NBR 13278 (ABNT, 2005).....	39
3.3.2 Testes a serem realizados na argamassa no estado endurecido.....	42
3.3.2.1 Densidade de massa aparente NBR 13280 (ABNT, 2005) .....	42
3.3.2.2 Resistência à compressão e a tração na flexão .....	43
3.3.2.3 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.....	46
3.3.2.4 Potencial de aderência à tração .....	48
4 resultados.....	53
4.1 Índice de consistência .....	53
4.2 Retenção de água .....	54
4.3 Densidade e teor de ar incorporado .....	55
4.4 Densidade de massa aparente.....	56
4.5 Resistência à compressão e a tração na flexão .....	56
4.7 Potencial de aderência à tração .....	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	60
REFERÊNCIAS.....	63

## 1 INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas e aquecimento global são fatores que representam desafios para a humanidade. Segundo o Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC), temos atualmente as maiores temperaturas médias globais registradas nos últimos cinco anos, se referindo à temperatura média da superfície, e tendo como principais causas deste fenômeno, os gases de efeito estufa (GEE) lançados na atmosfera.

Conforto térmico está relacionado à sensação de bem-estar do ser humano perante uma determinada situação, assim, passa a ser observado aonde o bem-estar se localiza como um fator necessário à saúde física do homem, levando ele a se sentir satisfeito e lhe ocasionando um melhor rendimento de suas atividades.

Diversos estudos buscam por novas técnicas e materiais de isolamento térmico tornaram-se um foco importante. No mercado da construção civil, essas aplicações ajudam a manter o ambiente mais confortável termicamente, contudo já se dispõem de inúmeras soluções que visam diminuir os índices de calor nos ambientes, proporcionando um maior conforto. De maneira geral, tais recursos são essenciais para uma boa eficiência energética de um sistema de climatização, por exemplo.

Os materiais criam uma barreira que reduzem a quantidade de energia consumida, minimizando também a temperatura que o imóvel perde durante as estações mais frias, e também a quantidade da entrada de ar quente. Geralmente a maior perda ou ganho de energia, se dá através do teto, paredes, portas e janelas.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT2013), demonstram recomendações para os elementos da envoltória da edificação, se referindo à transmitância térmica mínima de coberturas e paredes externas.

Por serem insatisfatórias quanto a sua eficiência, cada zona bioclimática apresenta estratégias para a obtenção de conforto térmico, e os cálculos para obtenção da resistência, capacidade e transmitância térmica de materiais e elementos construtivos.

O presente estudo busca desenvolver uma argamassa de emboço a fim de promover um melhor resultado térmico nas paredes das edificações .

## **1.1 Objetivos**

O presente estudo tem por objetivo buscar melhorias na eficiência das edificações a fim de obter eficácia no âmbito térmico das mesmas. O estudo tem como foco a argamassa de emboço, aplicada em paredes externas e internas das construções. O experimento será desenvolvido e testado por métodos de laboratório.

### **1.1.1 Objetivos gerais**

Acrescentar a mistura de argamassa, micro esferas de isopor, com o intuito de desenvolver a partir de um traço de argamassa um material que proporcione melhorias no âmbito térmico das edificações, aplicada ao emboço.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

São objetivos específicos deste estudo:

- a) Obter um percentual adequado de esferas de isopor a ser incorporado na argamassa;
- b) Fazer testes no estado fresco da argamassa;

- c) Fazer testes no estado endurecido da argamassa;
- d) Comparar as propriedades mecânicas no estado fresco;
- e) Comparar as propriedades mecânicas no estado endurecido;
- f) Obter uma mistura ideal a fim de atender as exigências nas normativas Brasileiras.

## **1.2 Justificativa**

A escolha do tema do trabalho ocorreu devido a verificação do valor de transmitância térmica do conjunto tijolo maciço e reboco, presente da NBR 15220 onde fica claro que o referido conjunto não atende as especificações referentes ao conforto térmico. As exigências da NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT2013), instituem que a transmitância térmica de paredes pesadas de vedações externas obtenham eficiência 2,2 ( $W/m^2.K$ ) conforme Tabela 3, em casa ou prédios com apartamentos, o que se intitula o conjunto parede/reboco de tijolos maciços como material viável na construção civil (TABELA 4).

## **1.3 Estrutura da pesquisa**

O capítulo 1 inclui o tema do trabalho a ser desenvolvido, apresentando objetivos gerais, específicos e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 foi desenvolvida a revisão bibliográfica, nela serão abordados assuntos sobre os mecanismos de transferência de calor, propriedades das argamassas, e materiais que compõem a argamassa.

A metodologia aplicada para o desenvolvimento desta pesquisa será abordada no capítulo 3, expondo materiais e métodos a serem utilizados no desenvolvimento do referido trabalho. Os capítulos 4 e 5 tratam dos resultados e considerações finais, respectivamente.

## 2

## REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Conforto térmico

Conforto térmico está relacionado à sensação de bem-estar do indivíduo. O ser humano é um indivíduo homeotérmico, seu organismo mantém uma temperatura interna constante na ordem de 37°C, sendo que seus limites são entre 32°C como limite inferior e 42°C superior. O organismo, por meio do metabolismo adquire energia, sendo que apenas 20% é transformada em energia de trabalho, os 80% restantes são transformados em calor, dissipado para o organismo para que o mesmo seja mantido em equilíbrio, desta forma quanto maior for o trabalho do organismo para manter a sua temperatura interna, maior será o desconforto sentido pelo seu corpo (COSTA; CRUZ, 1982).

### 2.2 Isolamento térmico

Um material para ser isolante deve possuir um baixo coeficiente de condutibilidade, geralmente materiais com essas características são porosos, cuja resistência térmica está associada à baixa condutibilidade do ar contido em seus vazios, são inúmeras as possibilidades e arranjos técnicos para se adquirir um isolamento térmico. No mercado existem vários produtos com tal finalidade, entre eles lã de rocha, poliestireno, lã de vidro, fibras celulósicas, poliuretano, cortiça, isopor, etc. (COSTA; CRUZ, 1982).

## 2.3 Mecanismo de troca térmica

Para se estabelecer uma harmonia térmica nas edificações, é necessário saber conceitos sobre os fenômenos de trocas térmicas, para que haja entendimento sobre o clima e o convívio do organismo humano com o ambiente térmico. Nas edificações ocorrem as trocas térmicas denominadas secas, onde existe a ocorrência de trocas por radiação, condução e convecção, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Formas de transferências de calor



Fonte: Oliveira (2017, imagem digital).

### 2.3.1 Radiação

Radiação é a troca de energia entre dois corpos por meio de ondas eletromagnéticas, ao serem absorvidas pelos corpos provocam efeitos térmicos, o que permite sua transmissão sem necessidade de um meio para propagação, ocorrendo mesmo no vácuo (FROTA; BARROS, 2008).

A energia do campo de radiação é transportada por ondas eletromagnéticas (ou, alternativamente, fótons). Enquanto a transferência de energia por condução ou convecção requer a presença de um meio material (FUNDAMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E DE MASSA, 2008, p. 6).

### 2.3.2 Condução

Condução é uma troca de calor entre dois corpos que se tocam, sendo o modo de troca de calor feito de partícula para partícula sem ocorrer transporte de matéria de uma região para outra, isso ocorre devido ao movimento molecular dos mesmos.

A teoria mecânica do calor considera que as moléculas dos corpos se acham animadas de movimento vibratório, cuja velocidade é tanto maior quanto mais elevada sua temperatura. Esse movimento vibratório permite um intercâmbio de energia cinética entre as moléculas, das quais as de maior temperatura cedem, por choque, energia às de menor temperatura, originando-se assim, a transmissão de calor por meio de condução (COSTA; CRUZ, 1982, p. 89).

### 2.3.3 Convecção

A convecção é a forma de transmissão de calor que se dá por meio do transporte da matéria, por efeito do movimento relativo das partículas do mesmo de uma região para outra, só ocorre nos fluidos, devido nos sólidos as partículas não poderem ser arrastadas, tal movimento é provocado pela diferença de pressão gerada através da diferença de temperatura e diferença de densidade da massa fluida considerada (COSTA; CRUZ, 1982).

Esse movimento de fluido está associado ao fato de que, em um instante qualquer, um grande número de moléculas está se movendo coletivamente ou como agregado, tal movimento, na presença de um gradiente de temperatura, contribui para a transferência de calor (FUNDAMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E DE MASSA, 2008, p. 4).

## 2.4 Condutividade térmica

Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2003) condutividade térmica tem como definição ser a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, onde verifica-se um fluxo de calor constante, tendo densidade de  $1 \text{ W/m}^2$ , aplicado a um gradiente de temperatura, com valor de 1 Kelvin por metro  $\text{W}/(\text{m.K})$ .

A NBR 15220 (ABNT, 2003) tem os valores indicados de condutividade térmica de alguns materiais de uso corrente, e estão dispostos na Tabela B.3 da referida norma, seguida na Tabela 1 e 2.

Tabela 1 - Propriedades térmicas dos materiais

	densidade	condutividade	calor específico
Material	$\rho(\text{KG}/\text{m}^3)$	$\lambda(\text{W}/(\text{m}.\text{K}))$	$c(\text{KJ}/(\text{kg}.\text{K}))$
cerâmica	1600	0.90	0.92
argamassa de emboço ou assentamento	2000	1.15	1.00
Concreto	2400	1.75	1.00

Fonte: Adaptado de NBR 15220, anexo D, p. 18.

Tabela 2 - Propriedades térmicas dos materiais

Material	$\rho(\text{KG}/\text{m}^3)$	$\lambda(\text{W}/(\text{m}.\text{K}))$	$c(\text{KJ}/(\text{kg}.\text{K}))$
cerâmica	2000	1.05	0.92
Fibro-cimento	1900	0.95	0.84
madeira	600	0.14	2.30
Concreto	2200	1.75	1.00
Lâmina de alumínio	2700	230	0.88
Lã de vidro	50	0.045	.070
	densidade	condutividade	calor específico

Fonte: Adaptado de NBR 15220, anexo D, p. 18.

Os valores de condutividade térmica segundo NBR 15220 (ABNT, 2003) podem ser obtidos pelo método absoluto, para determinação em processo permanente, da resistência térmica e também da condutividade térmica de materiais sólidos, usando-se a aparelhagem denominada como placa quente protegida.

## 2.5 Transmitância térmica

Em contradição à resistência, a transmitância térmica (U) tem ligação direta com a resistência dos materiais adotados e é calculada pelo somatório dos coeficientes de transmissão de calor. De acordo com a mesma normativa, a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), ela pode ser calculada pela Equação 1.

Equação 1 - Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{\sum R_t} \quad \text{W}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad (1)$$

Onde:

U = Transmitância térmica  $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ;

$R_t$  = Resistência térmica do material, determinada pela equação 1 ( $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$ ).

Segundo a Tabela C.2 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa da NBR 15220 (ABNT, 2003) disposta na Tabela 2.

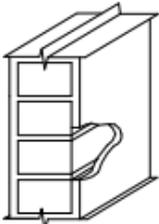
Tabela 3 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m <sup>2</sup> .K	Atraso térmico - $\phi$ Horas	Fator solar - FS <sub>0</sub> %
Paredes	Leve	U ≤ 3,00	$\phi \leq 4,3$	FS <sub>0</sub> ≤ 5,0
	Leve refletora	U ≤ 3,60	$\phi \leq 4,3$	FS <sub>0</sub> ≤ 4,0
	Pesada	U ≤ 2,20	$\phi \geq 6,5$	FS <sub>0</sub> ≤ 3,5
Coberturas	Leve isolada	U ≤ 2,00	$\phi \leq 3,3$	FS <sub>0</sub> ≤ 6,5
	Leve refletora	U ≤ 2,30.FT	$\phi \leq 3,3$	FS <sub>0</sub> ≤ 6,5
	Pesada	U ≤ 2,00	$\phi \geq 6,5$	FS <sub>0</sub> ≤ 6,5

Fonte: NBR 15220, anexo C, p. 17.

Tabela 4 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis conjunto parede reboco

Tabela d.3 - transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico

parede	descrição	u [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Ct[Kj/(m <sup>2</sup> .K)]	Φhoras
	Parede de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	3,13	255	3,8

Fonte: Adaptado de NBR 15220 em 17/04/2017.

## 2.6 Resistência térmica

A NBR 15220 (ABNT, 2005) apresenta recomendações para os elementos da envoltória da edificação, acerca de transmitância térmica mínima de coberturas e paredes externas e também estratégias para obtenção de conforto térmico. Os devidos cálculos para obtenção da resistência, capacidade e transmitância térmica

de materiais e elementos construtivos e métodos de medição de condutividade térmica também são apontados na referida norma.

A resistência térmica de uma unidade é determinada através da soma das resistências das camadas dos elementos construtivos, sejam elas externas e/ou internas. Segundo Costa (2003), a resistência equivale ao grau de dificuldade que a transmissão de calor sofre para atravessar o material. E pode ser calculada pela Equação 2 através da relação da espessura pela condutividade térmica do material:

Equação 2 - Resistência térmica

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}) \quad (2)$$

Onde:

R = Resistência térmica do material ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ );

e = Espessura camada e/ou do material (m);

$\lambda$  = coeficiente de condutividade térmica do material da camada.

Como as resistências internas e externas são consideradas, as mesmas devem seguir a Tabela A.1 da NBR 15220 (ABNT, 2005). A norma define a resistência superficial do ar, conforme segue na Tabela 1 do presente trabalho.

Tabela 5 - Resistência térmica superficial interna e externa

$R_{si} (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$			$R_{se} (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
$\Rightarrow$	$\overline{\uparrow}$	$\underline{\downarrow}$	$\Rightarrow$	$\overline{\uparrow}$	$\underline{\downarrow}$
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT 15220-2, Tabela A.1, anexo A, p. 7, 2005.

De acordo com NBR 15220 (ABNT, 2005), o quesito de resistência total ( $R_T$ ) de um ambiente é dada pela soma da resistência (R) com as resistências das superfícies interna ( $R_{si}$ ) e da externa ( $R_{se}$ ), obtidas através da Tabela 1. Obtendo assim, a Equação 2:

### Equação 3 - Resistência total

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)} \quad (3)$$

Onde:

R = Resistência térmica do material, determinada pela equação 1 (m<sup>2</sup>. K/W);

R<sub>se</sub> e R<sub>si</sub> = Resistências externa e interna, respectivamente, adquiridas pela Tabela 1 (m<sup>2</sup>. K/W).

## 2.7 Argamassa

A NBR 13281 (2005) descreve a argamassa como sendo uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, podendo conter ou não aditivos ou adições. Possui propriedades de aderência e endurecimento, pode ser dosada em obra ou até mesmo, em instalação própria (argamassa industrializada).

Segundo o manual de revestimentos de argamassa da Associação Brasileira de Cimento Portland, a argamassa de revestimento tem por função proteger a base, usualmente de alvenaria, da ação direta dos agentes agressivos, contribuindo para o isolamento térmico e acústico. Seu acabamento final deve ser composto de regularidade adequada ao recebimento de revestimentos, protegendo a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, e integrado ao sistema de vedação das edificações, contribuindo com o isolamento térmico, estanqueidade à água, bem como isolamento acústico, segurança contra fogo, resistência ao desgaste e até mesmo abalos superficiais.

## 2.8 Propriedades das argamassas

De acordo com Recena (2007), algumas características das argamassas devem desempenhar funções definidas, assim, neste item serão abordadas características específicas de cada propriedade das argamassas.

### 2.8.1 Trabalhabilidade estado fresco

A trabalhabilidade da argamassa está relacionada à capacidade de quão fácil ou difícil de dispor a argamassa em sua posição final.

Segundo Recena (2007), a argamassa deve ter características a fim de não comprometer o bom andamento da tarefa, levando em consideração os termos de rendimento e custos. A argamassa de revestimento deverá possuir uma plasticidade a fim de garantir aderência instantânea ao substrato.

### **2.8.2 Retenção de água**

A retenção de água da argamassa segue a NBR 13277 (ABNT, 2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água.

Conforme Recena (2007), a retenção de água é o tempo que a argamassa leva para perder água para o meio ambiente ou substrato onde foi empregada. Em argamassas mistas de cimento Portland e cal, para que se obtenha uma trabalhabilidade adequada, o consumo de água pode chegar a 30 % sobre a massa de material seco, portanto quanto mais água empregada na mistura, maior será o volume de água a ser evaporado, gerando retração, mesmo levando em consideração que por maior que seja a capacidade de retenção de água da mistura.

A retenção de água é uma propriedade muito importante, evitando a perda excessiva da água de amassamento da argamassa, por sucção, para os blocos ou tijolos. É uma medida indireta da plasticidade da cal, uma vez que cales plásticas tem alta capacidade de retenção de água, embora o inverso nem sempre seja verdadeiro. Essa propriedade é, também, importante por prolongar o tempo no estado plástico da argamassa fresca, aumentando a produtividade do pedreiro (AMBROZEWICZ, 2012, p. 71).

### **2.8.3 Retração na secagem**

A retração é um fenômeno ocorrente nas argamassas no período de secagem, devido ao fato da evaporação de água contida na mistura, bem como pelas reações na hidratação dos aglomerantes. Ricas em materiais finos como cimento, por exemplo, as argamassas tem mais probabilidade de aparecimento de fissuras devido a alta porcentagem de água necessária para a mistura.

Segundo Fiorito (2009), após a secagem, durante um período de quatro meses, é possível notar variações de dimensões em função do grau higrométrico do ambiente, em função da diminuição do volume, da perda de água por evaporação e devido às reações de hidratação.

#### **2.8.4 Aderência ao substrato**

Aderência está relacionada à propriedade da argamassa se manter sob condição inicial superficial ao substrato, sendo uma de suas características mais importantes, a resistência de aderência à tração do revestimento pode ser verificada através do ensaio de arrancamento por tração segundo a NBR 13528 de 1995.

Para Recena (2007) existem três mecanismos de aderência que atuam em conjunto com a argamassa.

Aderência instantânea que é aquela que é responsável pela capacidade da argamassa ficar aderida a superfície em um curto espaço de tempo. É a aderência formada pelo vácuo, quando a argamassa é projetada sobre uma superfície no seu estado fresco, esta aderência depende fundamentalmente da coesão e da plasticidade da argamassa.

A microancoragem que é a capacidade de absorção do material em contato com a argamassa, isso ocorre após a projeção da argamassa.

A formação destas pequenas estruturas que caracterizam a microancoragem está relacionada com a capacidade do material em absorver a pasta sendo má função da quantidade e do diâmetro dos poros e da predisposição da pasta em ser absorvida. Em outras palavras, o perfeito estabelecimento da microancoragem está condicionado a capacidade do material em absorver pasta em quantidade adequada, da existência de pasta disponível, da fluidez desta pasta e da capacidade de retenção de água da pasta (RECENA, 2007, p. 50).

Para finalizar o terceiro mecanismo que é chamado por Recena (2007) de macroaderência, que por sua vez é a aderência que a argamassa adquire em seu estado endurecido, a capacidade mecânica de arrancamento.

#### **2.8.5 Resistência mecânica**

Conforme Recena (2007), a resistência mecânica das argamassas depende de que fim deverá atender e estão vinculadas diretamente as solicitações previstas em projeto. Segundo o autor, resistência mecânica é sempre um elemento importante no controle de qualidade das argamassas.

A NBR 13281 (ABNT, 2001) aponta que os requisitos mecânicos e também reológicos relacionados a reologia das argamassas, devem estar em concordância com as exigências indicadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Exigências mecânicas e reológicas para argamassas

Características	Identificação <sup>1)</sup>	Limites	Método
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$	NBR 13279
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	
	III	$> 8,0$	
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	$\geq 80$ e $\leq 90$	NBR 13277
	Alta	$> 90$	
Teor de ar incorporado (%)	a	$< 8$	NBR 13278
	b	$\geq 8$ e $\leq 18$	
	c	$> 18$	

<sup>1)</sup> Exemplo de identificação de argamassa: I-Normal-a.

Fonte. NBR 13281, p. 2.

### 2.8.6 Massa específica e teor de ar incorporado

Segundo Carasek (2007), a massa específica e o teor de ar incorporado têm objetivo melhorar a trabalhabilidade das argamassas, por consequência reduz o esforço do operário gerando maior produtividade.

Para a obtenção da massa específica relativa são considerados tais vazios. O teor de ar incorporado na argamassa é uma medida da quantidade de ar existente para um determinado volume de argamassa, o teor de ar na argamassa influencia diretamente na massa específica relativa.

A NBR 13278 (ABNT, 2005) tem como objetivo estabelecer a forma para determinação da densidade de massa e também do teor de ar incorporado em

argamassas no estado fresco, designadas ao assentamento e revestimento de paredes.

A NBR 13278 (ABNT, 1995) cita que o cálculo da densidade de massa (A), referente ao estado fresco é obtido através da seguinte equação:

Equação 4 - Densidade de massa

$$A = \frac{M_c - M_v}{V_r} \quad (4)$$

Onde:  $M_c$  = massa do recipiente cilíndrico, contendo argamassa de ensaio, em g;

$M_v$  = massa do recipiente cilíndrico de PVC vazio, em gramas;

$V_r$  = volume do recipiente cilíndrico de PVC, em  $\text{cm}^3$ .

### **2.8.7 Permeabilidade**

A permeabilidade para Baía e Sabbatini (2008) está relacionada à passagem de água que passa pela camada de argamassa. A argamassa por ser um material poroso permite a percolação da água, tanto no estado líquido como no de vapor.

O revestimento deve impedir a percolação, mas deve ser permeável ao vapor, favorecendo a secagem de umidade de infiltração, como a água da chuva, por exemplo, ou decorrente da ação direta do vapor de água ocorrente principalmente em banheiros.

### **2.8.8 Durabilidade**

Durabilidade pode ser entendida como a capacidade de tempo da argamassa manter suas propriedades e resistir aos meios externos e agentes agressivos.

De acordo com Recena (2007), em condições normais sem haver a existência de fatores especiais de resistência mecânica, a durabilidade de uma argamassa está

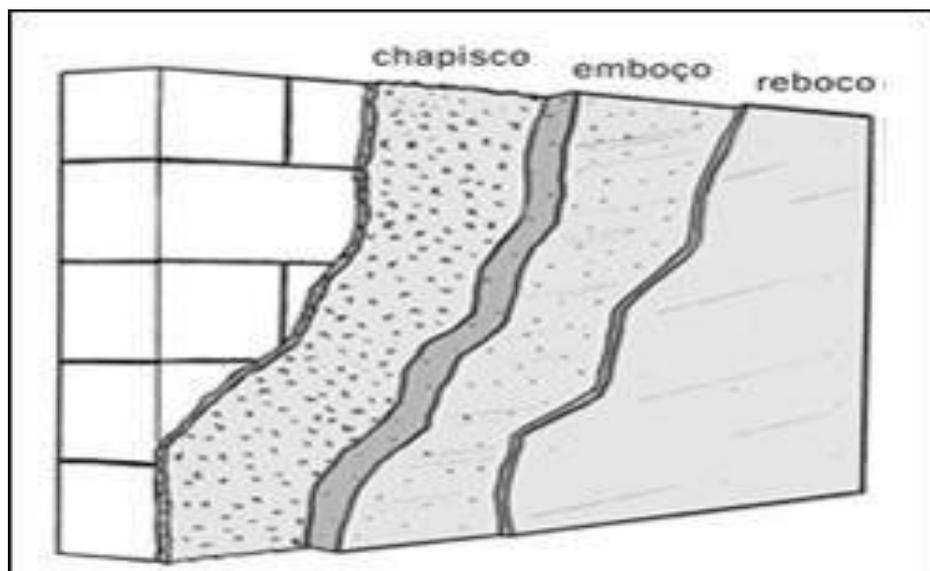
diretamente ligada ao fator umidade e sais solúveis passíveis de serem lixiviados. A argamassa está condicionada a suas devidas funções de projeto, portanto condições especiais de agressividade exigirão um emprego de argamassas especiais.

## 2.9 Estrutura do revestimento

O revestimento de uma parede tem por objetivo a proteção contra intempéries geradas no meio, é composto por várias camadas, as quais serão citadas no decorrer do trabalho, constituídas, principalmente, por substrato chapisco, emboço e reboco, além das camadas de pintura que procedem no decorrer do desenvolvimento da obra.

Segundo Borges (1996), o revestimento mais utilizado nas construções é o revestimento argamassado, pela característica de ser mais em conta quando comparado a outros revestimentos. Ainda existem casos de alvenarias que não recebem revestimento, que foram introduzidas com a finalidade arquitetônica e a fim de reduzir custos com o revestimento, a Figura 2 mostra as diferentes camadas de revestimento.

Figura 2 - Estrutura de revestimento



Fonte: Manual de revestimentos de Argamassa ABCPc (2009, p. 12).

A NBR 13749 (1995:2) indica as espessuras toleráveis, e também como níveis de aderência mínimos, dentre outros aspectos para essas camadas de revestimento expressos pela Tabela 7.

Tabela 7 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos

Revestimento	Espessura
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Telos interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: NBR 13749 (2002, p. 2).

### 2.9.1 Chapisco

Conforme Borges (1996), chapisco é o nome utilizado para descrever a argamassa que é usada com a finalidade de criar uma superfície com mais aderência, onde será aplicado o revestimento. O chapisco é a camada que fica localizada entre a alvenaria e o emboço, formando uma ligação entre elas.

A argamassa de chapisco apresenta características de consistência plástica, sua espessura é desprezível, pois não é necessário nesta etapa cobrir eventuais irregularidades na superfície. A seguir, na Figura 3, pode ser observada a parede com a camada de chapisco.

Figura 3 - Parede com aplicação do chapisco



Fonte: Dicionário da construção civil (2017, imagem digital).

### 2.9.2 Emboço

Segundo Borges (1996), a argamassa do emboço pode ser também utilizada no assentamento de tijolos comuns, também pode ser chamado de revestimento grosso. Esse revestimento tem por finalidade deixar a superfície de forma regular tirando todas as imperfeições.

Figura 4 - Parede com camada de emboço



Fonte: ESO (2013, imagem digital).

## **2.9.2 Reboco**

Para Borges (1996), quando o emboço tiver um acabamento rústico existe necessidade de aplicar-se a superfície uma camada que venha determinar um acabamento final, tal revestimento é entendido por revestimento fino ou reboco. Terá a espessura de 5 mm composta pela mistura de cal hidratada e areia fina no traço 1;2, e deverá contemplar a parede com um acabamento liso e uniforme.

## **2.10 Materiais componentes da argamassa**

### **2.10.1 Aglomerantes**

Segundo Ambrozewicz (2012), aglomerantes são materiais aditivos, que têm por finalidade conceder a união entre os grãos do agregado através de uma pasta. As pastas são misturas de aglomerantes com água, pouco empregues, devido aos efeitos secundários promovidos pela retração, podendo ser utilizadas em rejuntamentos de ladrilhos. Dentre os materiais serão descritos no decorrer do trabalho o cimento e a cal.

Podem ser classificados em dois segmentos: Os aéreos que enrigessem pela ação química do CO<sub>2</sub> no ar como, por exemplo, a cal aérea e o gesso, já os hidráulicos, são aglomerantes que endurecem devida ação exclusiva da água de amassamento, que recebe o nome de hidratação.

### **2.10.2 Cimento Portland**

Cimento Portland é a denominação técnica conhecida na construção civil como cimento. O cimento é um pó fino com propriedades aglutinantes, é um aglomerante hidráulico, depois de endurecido nem sob a ação de água se decompõe (AMBROZEWICZ, 2012).

O cimento é o mais importante dos aglomerantes, a NBR 11578 ABNT (1997) cita que o cimento Portland é um aglomerante hidráulico, composto pela moagem de

clínquer portland mais a adição de uma quantidade necessária de sulfato de cálcio, ainda durante a moagem é permitido a adição de materiais pozolânicos, escórias de alto forno ou materiais carbonáticos.

Os tipos de cimento (TABELA 8) existentes no Brasil foram listados pelo Manual de Revestimento da ABCP (2002), juntamente com as normas referentes a cada um.

Tabela 8 - Principais tipos de cimento utilizados no Brasil

<b>Denominação</b>	<b>Sigla</b>	<b>Norma</b>
Portland comum	CP I	NBR- 5732
Portland composto com escória	CP II-E	NBR-11578
Portland composto com pozolana	CP II-Z	NBR-11578
Portland composto com filler	CP II-F	NBR-11578
Portland de alto forno	CP III	NBR-5735
Portland pozolânico	CP IV	NBR-5736
Portland de alta resistência inicial	CP V-ARI	NBR-5733

Fonte: Manual do revestimento ABCP (2002, p. 13).

### **2.10.3 Cal**

A cal é um aglomerante aéreo utilizado em vários elementos da construção civil. É produzida a partir de rochas calcáreas, antes de ser usada como aglomerante deve passar por um processo de hidratação, da hidratação da cal virgem, obtém-se a cal hidratada que é utilizada como aglomerante em argamassas para assentamento de blocos cerâmicos e revestimentos de paredes, pode ser encontrada no mercado em sacos de 20 Kg (AMBROZEWICZ, 2012).

### **2.10.4 Agregado (areias)**

A extração da areia é feita por sucção no leito do rio ou extraída de depósitos aluvionares (depósitos de cascalho, areia e argila que se formam junto às margens ou a foz dos rios. “A areia, é um sedimento inconsolidado, cujos grãos têm diâmetros limites entre 0,075mm e 4,8mm. As areias grossas são usualmente, constituídas de

fragmentos de rocha e as areias finas de grãos minerais” (AMBROZEWICZ, 2012, p. 44).

O manual de revestimentos ABCP (2002) descreve que o agregado miúdo ou areia é um constituinte das argamassas, é de origem mineral, de forma particulada, com diâmetros entre 0,06 e 2,0 mm.

A granulometria do agregado tem influência nas proporções de aglomerantes e água da mistura, ocorrendo maior consumo de água de amassamento, reduzindo a resistência mecânica conseqüentemente causando maior retração por secagem na argamassa. A Tabela 9 apresenta as propriedades das argamassas e a relação com a granulometria dos agregados.

Tabela 9 - Propriedades das argamassas e a relação com a granulometria dos agregados

Propriedade	Quanto mais fino	Quanto mais descontinua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	-	Melhor
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	-
Porosidade	-	Aumenta	-
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistência mecânica	-	Pior	-
Impermeabilidade	Pior	Pior	-

Fonte: Manual de revestimento ABCP (2002, p. 14).

### 2.10.5 Água de amassamento

A água é um componente indispensável na construção civil, é usada em quase todos os serviços de engenharia, às vezes como ferramenta e outras como componente. É um dos itens mais importantes na confecção de concretos e argamassas, deve obedecer a certas qualidades químicas, não podendo conter impurezas, e ainda tem que estar dentro dos parâmetros recomendados pelas normas técnicas.

A NB-1 prescreve que a água destinada ao amassamento do concreto deverá ser isenta de teores prejudiciais e de substâncias estranhas. Presumem-se satisfatórias as águas potáveis e as que tenham um pH entre 5,80 e 8 e respeitem os seguintes limites máximos.

- Matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido)...3mg/l;
- Resíduo sólido...5000 mg/l;
- sulfatos (expresso em íons SO<sub>4</sub>)...300 mg/l;
- Cloretos (expressos em íons CL)...500 mg/l;
- Açúcar...5mg/l (AMBROZEWICZ,2012, p.102).

### **2.10.6 Preparo da argamassa**

A argamassa pode ser preparada de forma mecânica ou manual, em ambos os casos os elementos que compõem a argamassa devem ser dosados, para que se possa ter um resultado esperado, para isso deve-se basear num traço especificado pelo responsável técnico da obra. O traço é a indicação das proporções de cada material que compõe a argamassa, sendo apresentados em volume, ou em massa (AMBROZEWICZ, 2012).

### 3

## MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo são apresentados os materiais utilizados para o desenvolvimento do estudo, juntamente com os ensaios e os métodos para obterem-se as propriedades da argamassa, a fim de alcançar os objetivos propostos.

### 3.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa proposta tem como denominação uma pesquisa de modo exploratória, trabalha com testes padronizados, e tem avaliação qualitativa dos dados em que prima pela qualidade dos resultados finais, logo serão quantificados os valores e expostos resumidamente de uma maneira comparativa, os valores obtidos através dos ensaios propostos serão descritos por meio de tabelas.

Os estudos exploratórios são utilizados quando o objeto de pesquisa é pouco estudado, analisam fenômenos desconhecidos ou novos. O primeiro passo é explorar, buscando informações que nos são uteis. O estudo exploratório nos permite pesquisar novos problemas e identificar conceitos ou variáveis (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2013).

## **3.2 Materiais**

A escolha dos materiais foi feita pela disposição dos mesmos, não visando um fornecedor ou marca específica.

### **3.2.1 Cal**

A cal utilizada no referente trabalho é a cal hidratada encontrada no mercado local. Foram feitos os testes dos parâmetros de massa específica (NBR NM 23 (ABNT, 2001)) e de massa unitária (NBR NM 45 (ABNT, 2006)).

### **3.2.2 Cimento**

O cimento utilizado no referente trabalho foi o CP IV-32. Foram realizados os testes dos parâmetros de massa específica (NBR NM 23 (ABNT, 2001)) e de massa unitária (NBR NM 45 (ABNT, 2006)).

### **3.2.3 Areia**

A areia utilizada na elaboração do traço de argamassa foi disponibilizada pela UNIVATES, sendo que a mesma foi seca antes da realização dos ensaios para não interferir na relação água/cimento.

### **3.2.4 Água**

Em todos os procedimentos e experimentos do trabalho foi utilizada a água fornecida pela rede de distribuição da Corsan de Lajeado. Não serão realizados testes referentes à qualidade da água.

### **3.2.5 Esferas de isopor**

As esferas de isopor foram utilizadas a fim de diminuir a massa específica da argamassa, ajudando na eficácia térmica do material. As esferas de isopor são conhecidas no mercado pelo nome de “pérolas de isopor”. São micros esferas de isopor que podem ser acrescentadas para redução do peso estrutural, outro uso bastante difundido das pérolas de isopor é para enchimentos de pufs e pelúcias, devido a maciez e leveza do material.

### 3.2.6 Traço para o desenvolvimento da argamassa

A mistura a ser utilizada para o estudo usou o traço de 1:1:5 em proporções de volume ( $m^3$ ), adicionando-se a mistura esferas de isopor na dosagem de 20% ,25% , 30%, 35% e 40% da proporção de areia.

### 3.2.7 Blocos cerâmicos

Para elaboração dos testes de aderência foram utilizados blocos cerâmicos, (figura 5), denominado tijolo. Os blocos cerâmicos utilizados foram adquiridos no mercado local, dispostos pelo laboratório (LATEC) da Universidade Do Vale Do Taquari – UNIVATES.

Figura 5 – Bloco cerâmico maciço



Fonte: Autor (2017)

### 3.3 Métodos

Os referidos testes abaixo citados, são referentes aos parâmetros das argamassas, são elaborados para conhecer as propriedades e poder avaliar a qualidade da argamassa. São citados abaixo os testes a serem executados junto com as referidas normas que regulamentam cada um deles.

#### 3.3.1 Testes a serem realizados na argamassa no estado fresco.

##### 3.3.1.1 Índice de consistência NBR 13276 (ABNT, 2005)

Para a realização do ensaio de consistência foi utilizado a mesa de queda.

Figura 6 – Mesa de queda



Fonte: Autor (2017)

O valor do índice de consistência da argamassa é obtido através do teste que utiliza a mesa de consistência regida pela NBR 13276/2005. São aplicadas 30 quedas padronizadas e em seguida é medido o espalhamento (em mm) da argamassa.

Primeiramente prepara-se a argamassa de acordo com a proporção definida pelo usuário, após misturar a argamassa em velocidade baixa por 90 s, após a mistura deve permanecer em repouso por 15 min, em seguida homogeneizar a argamassa manualmente com espátula por um período máximo de 30 s.

A argamassa deve ser misturada com um traço pré-definido, deve ser misturada em velocidade baixa por 90 segundos, após deixar a argamassa descansar por 15 minutos, na sequência homogeneizar a argamassa com espátula por no máximo 30 segundos.

Aparelhagem que se utiliza para a execução do ensaio:

- a) mesa para índice de consistência, conforme a ABNT NBR 7215;
- b) molde troncônico, conforme a ABNT NBR 7515;
- c) soquete metálico, conforme a ABNT NBR 7215;
- d) régua metálica;
- e) paquímetro para medições até 300 milímetros, com resolução de pelo menos 1 milímetro.

Para a determinação do índice de consistência serão seguidos os passos:

Antes de iniciar a execução desta determinação, limpar o tampo da mesa para índice de consistência e a parede do molde tronco-cônico com um pano ou esponja umedecido, de modo que as superfícies fiquem ligeiramente úmidas. Logo após a preparação da argamassa, encher o molde tronco-cônico, colocado de modo centralizado sobre a mesa para índice de consistência. Enquanto um operador segura o molde firmem ente, outro deve enchê-lo em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e aplicar em cada uma delas, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com o soquete, de maneira a distribuí-las uniformem ente. Se houver necessidade, completar o volume do molde com mais argamassa. O rasamento da argamassa deve ser realizado passando a régua metálica rente à borda do molde tronco-cônico, com movimentos curtos de vai -e- vem ao longo de toda a superfície. Eliminar qualquer partícula em volta do molde com pano ou esponja úmida. Acionar a manivela da mesa para índice de consistência, de modo a que a mesa suba e caia 30 vezes em 30 s de maneira uniforme. Caso seja utilizada mesa com acionamento elétrico, deverão ser efetuados 30 golpes. Imediatamente após a última queda da mesa, medir com o paquímetro o espalhamento do molde tronco-cônico original de argamassa. Estas medidas devem ser realizadas em três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuí dos ao longo do perímetro. Registrar as três medidas. O índice de consistência da argamassa corresponde à média das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros e arredondada ao número inteiro mais próximo (NBR 13276, ABNT, 2005, p. 3).

### 3.3.1.2 Retenção de água NBR 13277 (ABNT, 2005)

O equipamento utilizado para os testes de retenção de água é denominado de funil de Buchner. As amostras de argamassa são colocadas sobre o funil, ligado a um compressor. Aciona-se o compressor e a argamassa é deixada sobre o funil por 15 minutos, toma-se nota do peso do funil vazio e depois dele cheio antes e depois do processo de sucção.

Figura 7 – Equipamento funil de Bucher



Fonte: Autor (2017)

Segundo Carasek (2007), além de afetar os processos de acabamento e retração plástica no estado fresco, a retenção de água tem importância também no estado endurecido das argamassas, pois para que a reação química de endurecimento dos aglomerantes ocorra apropriadamente, é necessária uma adequada retenção de água.

Aparelhagem ocupada para a execução do ensaio:

- a) funil de Buchner, modificado, conforme ABNT NBR 9290, com bomba de vácuo;
- b) discos de papel-filtro: qualitativos, com 200 milímetros de diâmetro;
- c) soquete metálico: conforme ABNT NBR 7215;
- d) régua metálica, bitolada, com comprimento mínimo de 30 centímetros;
- e) balança com resolução de 0,1 gramas;

- f) cronometro;
- g) utensílios de laboratório.

O ensaio de retenção de água segue os seguintes passos.

Preparar a argamassa conforme a ABNT NBR 13276. Colocar o prato sobre o funil, garantindo a estanqueidade entre eles, e umedecer o papel filtro, posicionado sobre o fundo do prato. Com a torneira fechada, acionar a bomba de vácuo de tal forma que se aplique ao conjunto uma sucção de 51 milímetros de mercúrio, abrir a torneira para a retirada do excesso de água do papel filtro por 90 segundos, fechando-a em seguida. Pesá-lo conjunto com argamassa rasada na balança com resolução de 0,1 gramas e registrar sua massa (ms) (ABNT NBR 13277/2005, p. 7).

Os resultados são obtidos pelo cálculo de retenção de água (Ra) através da seguinte equação:

Equação 5 - Retenção de água

$$R_a = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad (5)$$

Sendo:

- retenção de água
- massa do conjunto com argamassa, em gramas;
- é a massa do conjunto após a sucção, em gramas;
- é a massa do conjunto vazio, em gramas;
- é o fator água/argamassa fresca;

Equação 6 - Fator água/argamassa fresca

Onde: (6)

- é a massa total de água acrescentada à mistura, em gramas;
- é a massa total de argamassa industrializada ou a soma das massas dos componentes anidros no caso de argamassa de obra, em gramas.

O resultado deve ser expresso em porcentagem, arredondando-o ao número inteiro mais próximo.

### 3.3.1.3 Densidade e teor de ar incorporado NBR 13278 (ABNT, 2005)

O ensaio de densidade de massa no estado fresco consiste em colocar a argamassa em um recipiente de volume conhecido, a argamassa é colocada em três camadas, sendo que cada camada recebe 20 golpes ao longo do perímetro. Estando o recipiente todo preenchido, faz-se o arrasamento da argamassa na superfície e pesa-se o mesmo.

Figura 8 – teste estado fresco



Fonte: Autor (2017)

O teor de ar incorporado melhora a trabalhabilidade da argamassa deixando a mesma mais leve e melhor de se aplicar. O teor de ar incorporado pelas argamassas pode ser aumentado por meio de aditivos. Tanto as argamassas estabilizadas, quanto as argamassas industrializadas possuem aditivos incorporadores de ar.

A NBR 13278 (ABNT, 2005) tem por objetivo determinar a densidade de massa e o teor de ar incorporado em argamassa no estado fresco, destinadas ao assentamento e ao revestimento de paredes e tetos.

Aparelhagem necessária para a execução do ensaio:

- a) balança com resolução de 0,1 gramas;

- b) recipiente rígido, cilíndrico, de material não absorvente, calibrado, com capacidade aproximada de 400cm<sup>3</sup>, altura aproximada de 85 mm e diâmetro aproximado de 80mm;
- c) espátula, com lâmina de comprimento mínimo de 150mm e largura máxima de 20mm;
- d) placa de vidro plano, transparente, com seção quadrada de aproximadamente 100mm de lado e espessura de 3mm;
- e) utensílios de laboratório.

A execução do ensaio segue os seguintes passos:

Calibração do recipiente cilíndrico. Pesar o recipiente vazio com a placa de vidro e registrar a massa ( ). Encher o recipiente com água destilada ou desmineralizada a (23±2)°C e registrar seu volume ( ). Rasar o recipiente com a placa de vidro, garantindo que não permaneçam bolhas de ar sob a placa. Pesar novamente o recipiente com água e com a placa de vidro, registrando sua massa ( ). Cálculo do volume (ABNT NBR 13278, 2005, p. 8).

A argamassa deve ser preparada conforme a NBR 13276 (ABNT 2005)

A colocação da argamassa no recipiente cilíndrico deve seguir os seguintes passos:

Imediatamente após o preparo da argamassa, introduzir suavemente, com colher ou concha, porções de argamassa no recipiente cilíndrico calibrado, formando três camadas de alturas aproximadamente iguais. Em cada camada, aplicar 20 golpes ao longo do perímetro da argamassa, cada golpe corresponde à entrada e a saída da espátula na posição vertical, na primeira camada a espátula não deve bater fortemente contra o fundo do recipiente e nas demais camadas a espátula deve ser aplicada somente com a força necessária para penetra a superfície da camada imediatamente inferior. Após a execução e golpe amento de cada camada, efetuar três quedas do recipiente com altura aproximada de 3 cm, ao final, não devem ficar vazios entre a argamassa e a parede do recipiente. Rasar o recipiente com a espátula, em duas passadas ortogonais entre si, fazendo movimentos de vai- e – vem, com inclinação de 45 graus em relação a superfície da argamassa. Após a eliminação de qualquer partícula ou água aderida à parede externa do recipiente, pesar e registrar a massa do molde com a argamassa ( ) (ABNT NBR 13276, 2005, p. 8).

Os resultados da densidade de massa ( ) são calculados pela seguinte equação:

## Equação 7 - Densidade de massa

$$\frac{m_1 - m_2}{V} \times 1000 \quad (7)$$

Onde:

$m_1$  é a massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio, em gramas;

$m_2$  - é a massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas;

$V$  - é o volume do recipiente cilíndrico, em centímetros cúbicos.

A densidade de massa ( $\rho$ ) no estado fresco deve ser expressa em quilogramas por metro cúbico, e arredondada ao inteiro mais próximo.

O teor de ar incorporado na argamassa ( $A$ ) deve ser calculado pela seguinte equação.

## Equação 8 - Teor de ar incorporado na argamassa

$$A = \frac{100(\rho - \rho_t)}{\rho_t} \quad (8)$$

Onde:

$\rho$  - é o valor da densidade de massa de argamassa, em gramas por centímetro cúbico;

$\rho_t$  - é o valor da densidade de massa teórica da argamassa, em gramas por centímetro cúbico, sem vazios.

O teor de ar incorporado ( $A$ ) deve ser expresso em porcentagem, arredondando ao número inteiro.

Para as argamassas dosadas em obra a densidade de massa teórica deve ser calculada pela seguinte equação:

## Equação 9 - Densidade de massa teórica para argamassa dosada em obra

Onde:

- é a massa seca de cada componente da argamassa, mais a massa de água;

-é a massa específica de cada componente da argamassa.

### 3.3.2 Testes a serem realizados na argamassa no estado endurecido

#### 3.3.2.1 Densidade de massa aparente NBR 13280 (ABNT, 2005)

O ensaio de massa aparente no estado endurecido consiste em moldar três corpos de prova de dimensões 4x4x16cm de acordo com a NBR 15259(2005) e deixa-los secar por 28 dias. Ao final deste período é feita a pesagem dos mesmos e então obtida a densidade pela divisão da massa pelo volume de cada corpo de prova.

Figura 9 – ensaio massa aparente



Fonte: Autor (2017)

a) densidade de massa aparente no estado endurecido será determinada conforme a NBR 13280 (ABNT, 2005) que especifica os métodos de ensaio.

Aparelhagem necessária para a execução do ensaio:

- a) balança com resolução de 0,1 g e capacidade mínima de 1000g;
- b) paquímetro com resolução de 0,1 g;
- c) molde prismático de 4cm X 4 Cm X 16 cm conforme ABNT NBR 13279;
- d) utensílios de laboratório.

O ensaio deve ser executado seguindo os seguintes passos:

No ensaio são utilizados três corpos de prova moldados conforme ABNT NBR 13279. Moldar e curar os corpos de prova até a idade de 28 dias, conforme a ABNT NBR 13279. Determinar, com auxílio do paquímetro, a altura, a largura e o comprimento de cada corpo de prova em duas posições, em centímetros, arredondando ao décimo mais próximo. Determinar a massa do corpo de prova (m) com resolução de 0,1 g, e registra-la em gramas, arredondando ao décimo mais próximo. NBR 13280 (ABNT, 2005, p. 1-2).

Para calcular o volume (V) do corpo de prova, em centímetros cúbicos, a partir das medidas da largura (l), da altura (h) e do comprimento (c), usa-se a seguinte equação:

Equação 10 - Volume corpo de prova

(10)

Onde:

- volume corpo de prova;
- medidas da largura do corpo de prova;
- medidas da altura do corpo de prova;
- medida do comprimento do corpo de prova.

Os resultados são obtidos em quilogramas por metro cúbico, arredondando ao número inteiro mais próximo.

### **3.3.2.2 Resistência à compressão e a tração na flexão**

Após a moldagem dos corpos de prova é feito o emparelhamento da superfície. Os corpos secam por 48 horas dentro dos moldes. Após este período os

corpos são desmoldados e esperam mais 26 dias (totalizando 28 dias) até serem rompidos.

Figura 10 – ensaio de resistência à compressão e tração



Fonte: autor (2017)

Os valores de resistência à compressão e resistência à tração serão obtidos conforme define a NBR 13279 (ABNT, 2005).

Aparelhagem necessária para a execução do ensaio:

- a) moldes prismáticos metálicos que consistem em armações abertas com paredes removíveis, formando três compartimentos quando montados, capazes de servirem de molde para três corpos de prova de 4 cm X 4 cm X 16 cm;
- b) mesa de adensamento por queda;
- c) nivelador de camadas;
- d) régua metálica;
- e) máquina para ensaios de resistência à tração na flexão e de compressão conforme ABNT NBR NM 7500-1, no mínimo classe 1;

- f) dispositivo de carga para ensaio de resistência à tração na flexão, capaz de aplicar uma carga uniforme e sem choque de 50N/s;
- g) cronômetro;
- h) utensílios de laboratório.

O ensaio deve ser executado seguindo os seguintes passos:

Moldar três corpos de prova prismáticos, por idade, com argamassa recém preparada. Colocar os moldes prismáticos sobre a mesa de adensamento, fixando-os adequadamente. Aplicar uma fina camada de óleo mineral nas faces internas dos moldes e, se necessário, remover o excesso com pano ou papel absorvente, limpo e seco. Preparar a argamassa a ser utilizada neste ensaio, conforme a ABNT NBR 13276. Imediatamente após o preparo da argamassa, com o molde fixo à mesa de adensamento, introduzir, diretamente, em cada compartimento do molde, uma porção de argamassa, com o auxílio do lado maior do nivelador de camadas, proceder ao espalhamento da argamassa em cada compartimento, formando uma camada uniforme. Em seguida, aplicar 30 quedas através da mesa de adensamento. Introduzir a segunda camada de argamassa em cada compartimento do molde com o auxílio do lado menor do nivelador de camadas, proceder ao espalhamento uniforme de argamassa, aplicar novamente 30 quedas na mesa de adensamento. Rasar os corpos de prova com régua metálica. Os corpos de prova devem permanecer (48 ± 24) horas, nos moldes, nas condições da seção 3. A seguir devem ser desmoldados e mantidos também nas condições da seção 3 até a ruptura. As rupturas devem ser realizadas nos corpos de prova na idade de 28 dias. Outras idades de ensaio podem ser solicitadas pelo interessado, devendo constar no relatório do ensaio. Posicionar o corpo de prova nos dispositivos de apoio do equipamento, de modo que a face rasada não fique em contato com os dispositivos de apoio nem o dispositivo de carga. Aplicar carga de (50 ± 100 N/s até a ruptura do corpo de prova. NBR 13279 (ABNT, 2005, p. 2-3).

A resistência à tração na flexão é calculada segundo a equação:

Equação 11 - Resistência à tração na flexão

Onde: (11)

-resistência à tração na flexão, em megapascais;

-carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

-distância entre os suportes, em milímetros.

À resistência à compressão é calculada pela seguinte equação:

Equação 12 - Resistência à compressão

$$\frac{F}{A}$$

(12)

Onde:

- resistência à compressão, em megapascais;
- carga máxima aplicada, em metros.

1 600- área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40mm X 40mm, em milímetros quadrados.

### 3.3.2.3 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

O ensaio de absorção de água consiste em 3 corpos de prova com dimensões de 4x4x16 cm moldados conforme NBR 15259(2005). Os corpos de prova com idade de 28 dias são colocados em um recipiente com uma camada de água de 5±1 mm, com a menor face voltada para água. Realiza-se a leitura do peso dos corpos no tempo inicial, de 10 e de 90 minutos.

A absorção por capilaridade é obtida dividindo a variação de massa pela área de seção transversal do corpo em contato com a água. Os resultados são apresentados para os intervalos de tempo de 0 a 10 minutos e de 10 a 90 minutos.

Figura 11 – ensaio de coeficiente de capilaridade



Fonte: Autor (2017)

A NBR 15259 (ABNT, 2005) estabelece o método para a determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade, para argamassas de assentamento e revestimento.

Aparelhagem necessária para a execução do ensaio:

- a) balança com resolução mínima de 0,01g e capacidade mínima de 500g;
- b) cronometro;
- c) recipiente destinado a armazenar os corpos de prova, que deve ser provido de dispositivo que garanta um nível de água constante, com no mínimo 45 l;
- d) suportes para os corpos de prova construídos de forma que a superfície dos corpos de prova em contato com a água seja a maior possível;
- e) espátula metálica, com lâmina de aproximadamente 20 mm de largura e 200 mm de comprimento;
- f) utensílios de laboratório.

O ensaio deve ser executado seguindo os seguintes passos:

Neste ensaio são utilizados três corpos de prova, moldados conforme a NBR 13279. Os corpos de prova devem ser ensaiados aos 28 dias de idade, com tolerância de 24 horas, e permanecer nas condições estabelecidas na seção 3 durante este período. Lixar a superfície do corpo de prova com lixa grossa e limpar com pincel. Determinar a massa inicial ( $m_0$ ). Em gramas, de cada corpo de prova. Posicionar os corpos de prova com a face quadrada sobre os suportes no recipiente de ensaio, evitando a molhagem de outras superfícies. O nível de água deve permanecer constante a  $(5 \pm 1)$  mm acima da face em contato com a água. A partir da colocação dos corpos de prova, em contato com a água, determinar a massa de cada corpo de prova, em gramas, aos 10 min ( $m_{10}$ ) e aos 90 min ( $m_{90}$ ). Os corpos de prova devem ser previamente enxutos com pano úmido, antes de cada pesagem. Completada a pesagem aos 10 min, os corpos de prova deve retornar imediatamente ao recipiente de ensaio. A NBR 15259 (ABNT, 2005, p. 2).

Para definir a absorção de água por capilaridade é utilizada a seguinte equação:

## Equação 13 - Absorção de água por capilaridade

$$\text{-----} \quad (13)$$

Onde:

-absorção de água por capilaridade, para cada tempo, aproximada ao centésimo mais próximo, em gramas por centímetro quadrado;

-massa inicial do corpo de prova, em gramas;

-massa inicial do corpo de prova, em gramas;

16- área do corpo de prova, em centímetros quadrados.

Para definir o coeficiente de capilaridade é utilizada a seguinte equação:

## Equação 14 - Coeficiente de capilaridade

$$() () \quad (14)$$

Onde:

-coeficiente de capilaridade, em gramas por decímetro quadrado pela raiz quadrada de minuto;

- massa de cada corpo de prova, em gramas, aos 90 min;

- massa de cada corpo de prova, em gramas, aos 10 min.

### 3.3.2.4 Potencial de aderência à tração

Para a realização deste ensaio primeiramente é necessário aplicar a argamassa ao substrato, a argamassa passa por um período de secagem de 28 dias, a partir daí a argamassa está pronta para ser ensaiada.

Para o referido ensaio os tijolos maciços utilizados foram adquiridos na cidade de Lajeado. A dimensão dos tijolos é de 11,5x 24,5x 5,5 cm, cada painel possui seis blocos ficando assim com as dimensões de 50,5x 36,6x 9 cm. Os tijolos

foram assentados com argamassa feita com o traço de 1.1.5 Todos os blocos receberam chapisco, para a realização do chapisco foi utilizado um traço de 1.3 sendo utilizada a betoneira de 120 litros para fazer a mistura. Após a realização do chapisco os blocos passaram por um período de 15 dias para a secagem do chapisco, então receberam a camada de revestimento (emboço).

Figura 12 – substrato com chapisco e argamassa aplicada



Fonte: Autor (2017)

Para a realização do mesmo cada placa recebe doze cortes circulares afastados entre si e das extremidades em cerca de 5 cm, este afastamento serve para que um corte não interfira no outro e para a locação do equipamento que fara o teste de arrancamento. Estes cortes são feitos na argamassa com uma serra copo até atingirem o substrato, após serem realizados os cortes a superfície é limpa e recebe as pastilhas de alumínio compatíveis com o aparelho, que por sua vez são coladas. A cola utilizada foi a póxipol adquirida no mercado local.

Figura 13 – Aparelho utilizado para aplicar carga a tração



Fonte: Autor (2017)

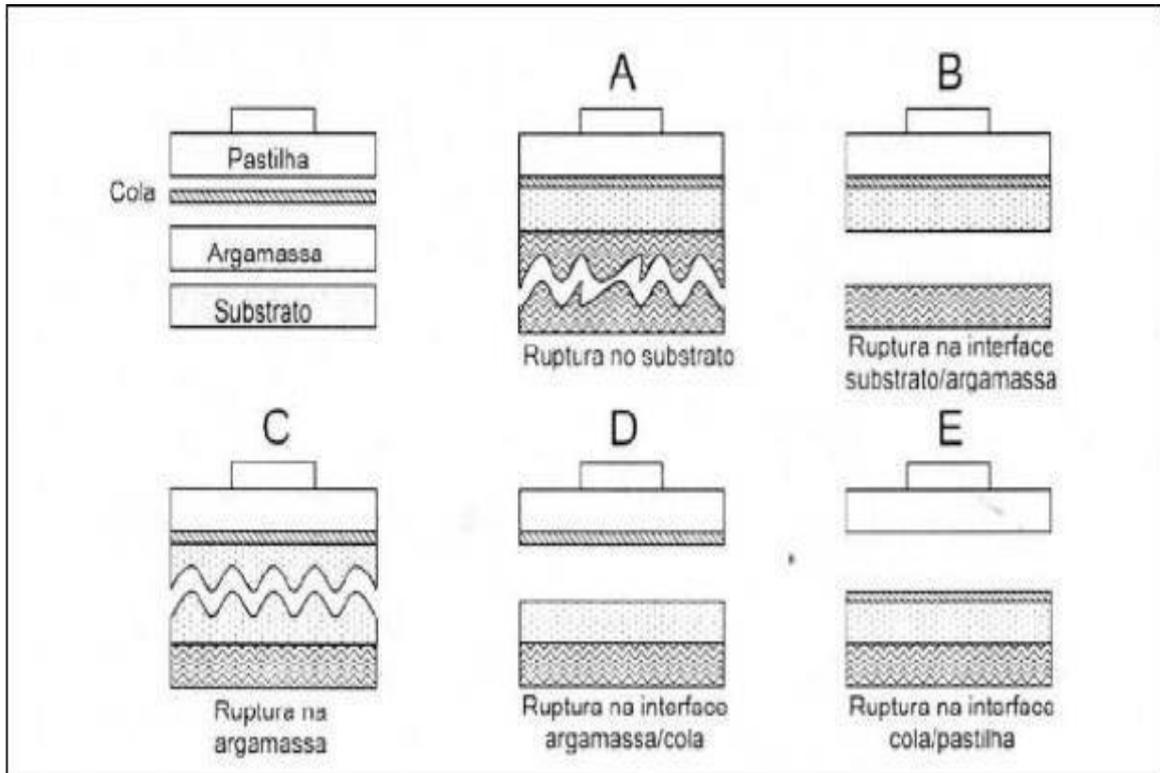
Figura 14 – Equipamento para furar a argamassa



Fonte: Autor (2017)

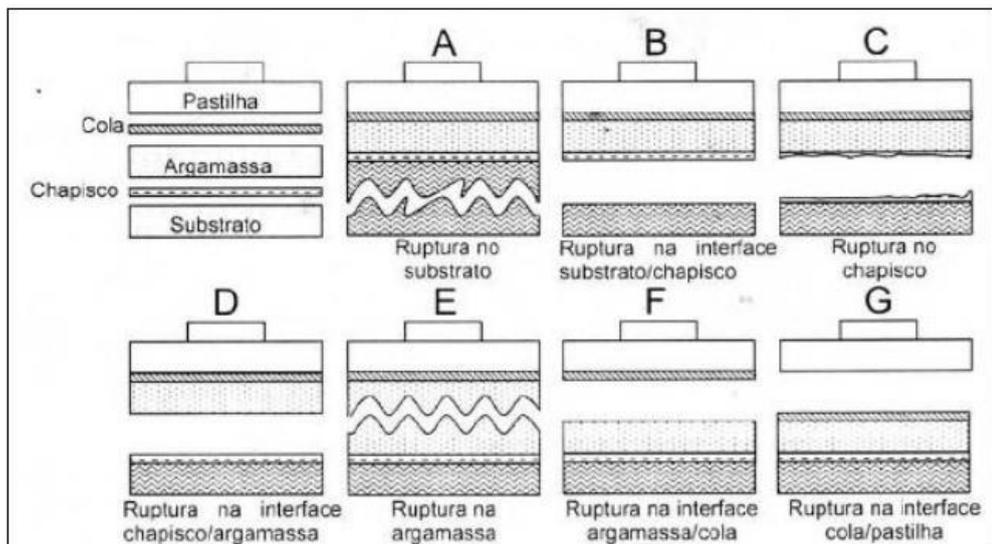
As figuras 15 e 16 apresentam as formas de rupturas tanto para substratos com chapisco quanto para sem.

Figura 15 – tipos de ruptura em substrato sem chapisco



Fonte: NBR 13528 (ABNT, 2010).

Figura 16 – tipos de ruptura em substrato com chapisco



Fonte: NBR 13528 (ABNT, 2010).

A NBR 13528 (ABNT, 2010) prescreve o método de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa aplicados em obra ou laboratório sobre substratos inorgânicos não metálicos.

Aparelhagem necessária para a execução do ensaio:

- a) equipamento de tração;
- b) pastilhas;
- c) paquímetro;
- d) cola.

Todos os materiais necessários para a execução do teste estão descritos na referida norma. O ensaio deve ser executado seguindo os passos que a referida norma estabelece. A resistência de aderência à tração de cada corpo de prova é calculada pela seguinte equação:

Equação 15 - Resistência de aderência à tração

—

(15)

Onde:

- resistência de aderência à tração, expressa em megapascais (MPa);
- força de ruptura, expressa em newtons (N);
- área do corpo de prova, expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Índice de consistência

Segundo a NBR 13276 se não houver informação quanto à quantidade de água a mistura, recomenda-se utilizar água necessária para o índice de consistência de (260+-5) mm.

Para a realização da argamassa utilizou-se um índice de água cimento(A/C) de 1/7, obtendo os resultados do ensaio em milímetros(mm) dispostos na tabela abaixo.

Tabela 10 – índice de consistência

	índice de consistência(mm)					
	traço padrão	20%	25%	30%	35%	40%
1°	250	245	245	255	235	275
2°	255	255	250	260	245	270
3°	260	255	255	265	255	265

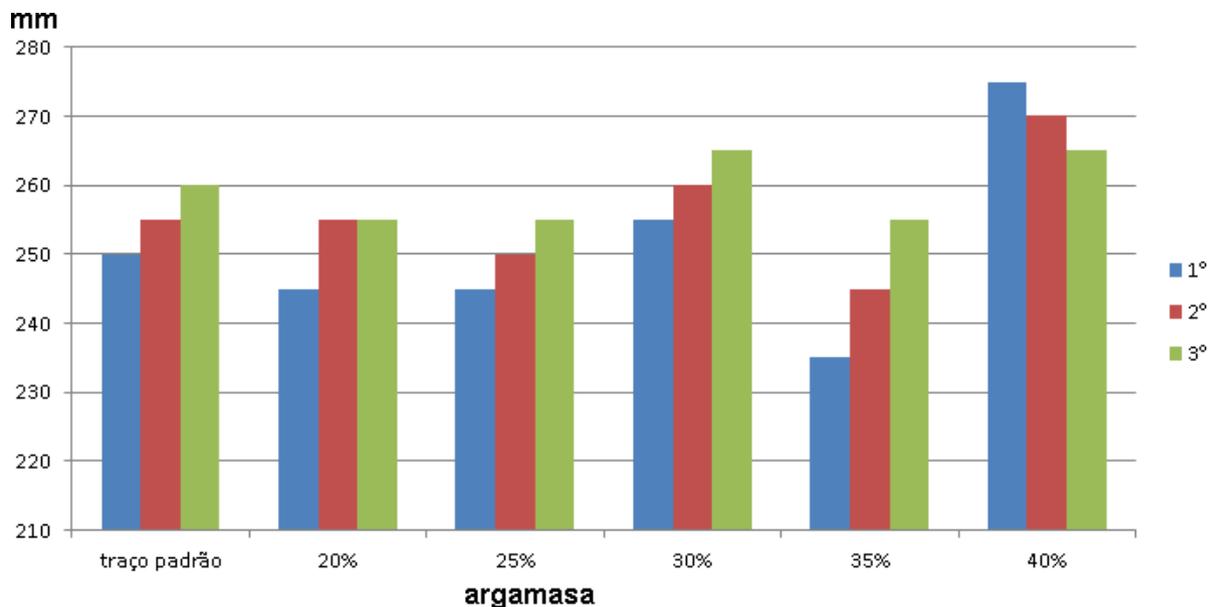
Fonte. Autor (2017)

Com o desenvolvimento da argamassa buscou-se deixar o parâmetro de consistência o mais próximo possível das exigências.

Índice de consistência é um parâmetro ligado diretamente a trabalhabilidade da argamassa. Os valores de índice não devem ser muito elevados, pois a argamassa estará muito mole e será difícil de aplicar, e nem muito baixos, pois a argamassa não se espalhará na parede, pode ser observado nos resultados que o

índice de consistência manteve-se dentro de um padrão em todos os traços realizados.

Gráfico 1: Índice de consistência



Fonte: Autor 92017)

## 4.2 Retenção de água

A NBR 13277 ABNT (2005) cita que a níveis de retenção de água uma argamassa é considerada normal se os índices entre 80 % e 90 % acima de 90% são considerados um índice alto.

Tabela 6 - Exigências mecânicas e reológicas para argamassas

Características	Identificação <sup>1)</sup>	Limites	Método
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$	NBR 13279
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	
	III	$> 8,0$	
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	$\geq 80$ e $\leq 90$	NBR 13277
	Alta	$> 90$	
Teor de ar incorporado (%)	a	$< 8$	NBR 13278
	b	$\geq 8$ e $\leq 18$	
	c	$> 18$	

<sup>1)</sup> Exemplo de identificação de argamassa: I-Normal-a.

Fonte. NBR 13281, p. 2.

Devido às perolas de isopor implantadas na argamassa esse índice ficou entre 76% a 80 % bem próximo ao que a norma refere-se a normal conforme tabela 11.

Tabela 11 – ensaio de retenção de água

Ensaio de retenção de água		
	Argamassa	Retenção (%)
Autor (2017)	p	80,04 %
	20%	78,95 %
	25%	76,85 %
	30%	78,88 %
	35%	76,33 %
	40%	77,19 %
Macioski (2014)		87%

Fonte: Autor (2017)

Os resultados foram bem próximos ao resultado do Macioski (2014) é referente a uma argamassa estabilizada que fica até por 72 horas em seu estado fresco, o que explica a diferença de valores.

Os resultados mostram que com o aumento de EPS a retenção de água diminui o que já era esperado.

### 4.3 Densidade e teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado melhora a trabalhabilidade da argamassa deixando a mesma mais leve e melhor de se aplicar. A densidade no estado fresco afeta principalmente a trabalhabilidade da argamassa, pois quanto mais leve a argamassa melhor será trabalhar. A tabela 12 mostra os resultados obtidos com o estudo realizado.

Tabela 12 – densidade e teor de ar incorporado no estado fresco

densidade e teor de ar incorporado estado fresco			
	argamassa	densidade(Kg/m <sup>3</sup> )	teor de ar incorporado (%)
Autor(2017)	p	2068,94	60,37
	20%	1845,50	49,44
	25%	1690,72	40,36
	30%	1782,98	51,65
	35%	1715,64	49,41
	40%	1637,81	45,96

Fonte: Autor (2017)

#### 4.4 Densidade de massa aparente

Segundo a tabela 13, conforme o aumento do percentual de EPS na argamassa o valor de densidade diminui consideravelmente, isso se aplica devido à baixa densidade que O EPS possui como principal característica, essa redução de densidade era tida como base para que a argamassa atendesse os objetivos do estudo.

Tabela 13 – densidade da massa aparente no estado endurecido

densidade da massa aparente estado endurecido			
	argamassa	densidade(Kg/m <sup>3</sup> )	
Autor(2017)	p	1942,32	
	20%	1777,47	
	25%	1672,40	
	30%	1654,17	
	35%	1632,94	
	40%	1519,14	

Fonte: Autor (2017)

#### 4.5 Resistencia à compressão e a tração na flexão

Conforme Já descrito no trabalho as tabelas 6 e14 descrevem as exigências reológicas das argamassas.

Tabela 14 – resistência à tração na flexão

Classe	Resistência à tração na flexão MPa	Método de ensaio
R1	≤ 1,5	ABNT NBR 13279
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	> 3,5	

Fonte: NBR 13281 ABNT(2005)

Tabela 15 – resistência à compressão e a tração na flexão

Resistência à compressão e a tração na flexão			
	argamassa	compressão (mpa)	flexão (mpa)
Autor(2017)	p	10,52	2,64
	20%	9,65	2,44
	25%	9,78	2,39
	30%	6,39	1,45
	35%	9,98	1,37
	40%	3,16	1,45

Fonte: Autor (2017)

As argamassas ensaiadas ficaram segundo a NBR 13281ABNT(2005) dentre as classificações de R1, R2, R3, e R4, mostrando assim um bom desempenho para argamassa de revestimento.

#### 4.6 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

A determinação da absorção de água por capilaridade assim como o coeficiente de capilaridade foram obtidos através da média dos resultados de três corpos de prova. É possível verificar nitidamente que quanto maior o percentual de EPS na argamassa menor é o coeficiente de capilaridade.

Tabela 16 – ensaio de absorção de água

Ensaio de absorção de água			
Argamassas	Absorção de água (g/cm <sup>2</sup> )		Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>3</sup> . min <sup>1/2</sup> )
	t=10 (min)	t= 90 (min)	
p	0,55	0,92	0,36
20%	0,39	0,76	0,36
25%	0,16	0,37	0,21
30%	0,20	0,47	0,27
35%	0,18	0,40	0,23
40%	0,06	0,25	0,19

Fonte: Autor (2017)

Segundo a tabela 17 as argamassas se classificam em classe C1, C2 e C3.

Tabela 17 – coeficiente de capilaridade

Classe	Coeficiente de capilaridade g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup>	Método de ensaio
C1	≤ 1,5	ABNT NBR 15259
C2	1,0 a 2,5	
C3	2,0 a 4,0	
C4	3,0 a 7,0	
C5	5,0 a 12,0	
C6	> 10,0	

Fonte NBR 13281(ABNT, 2005).

#### 4.7 Potencial de aderência à tração

A resistência de aderência à tração é definida pela NBR 13749 (ABNT, 2013), dispostas na tabela 2. A norma determina os valores mínimos para paredes internas, externas e teto.

Tabela 18. Resistências mínimas de aderência a tração

Local	Acabamento	Ra(Mpa)	
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥0,20
		Cerâmica ou laminado	≥0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥0,30
		Cerâmica	≥0,30
Teto		≥0,20	

Fonte. NBR 13749 (ABNT, 2005)

Os resultados quanto a aderência a tração são satisfatórios, pois todos os traços atendem as exigências normativas.

Na tabela 19 estão dispostos os valores encontrados no teste de aderência a tração

Tabela 19: Potencial de aderência à tração

ensaio	p		20%		25%		30%		35%		40%	
	(N)	Mpa										
1	133	0,72	129	0,70	55	0,30	131	0,71	110	0,60	136	0,74
2	122	0,66	110	0,60	49	0,27	150	0,81	0	0,00	93	0,50
3	107	0,58	75	0,41	50	0,27	115	0,62	55	0,30	118	0,64
4	126	0,68	89	0,48	50	0,27	132	0,72	0	0,00	120	0,65
5	154	0,83	87	0,47	48	0,26	154	0,83	98	0,53	98	0,53
6	132	0,72	32	0,17	33	0,18	110	0,60	55	0,30	126	0,68
7	120	0,65	77	0,42	51	0,28	76	0,41	110	0,60	123	0,67
8	107	0,58	118	0,64	31	0,17	100	0,54	65	0,35	136	0,74
9	76	0,41	57	0,31	41	0,22	124	0,67	75	0,41	138	0,75
10	111	0,60	116	0,63	66	0,36	163	0,88	84	0,46	94	0,51
11	154	0,83	44	0,24	48	0,26	119	0,64	89	0,48	122	0,66
12	115	0,62	97	0,53	47	0,25	75	0,41	102	0,55	98	0,53

Fonte: Autor (2017)

No que se referem às resistências normativas os testes de arrancamento atendem as exigências, porém é possível verificar que nos testes de 25% e 35 %, isso se deu pelo fato de que estes ensaios foram realizados separadamente, os ensaios seguiram o mesmo padrão e sequência dos demais, contudo não se descarta a hipótese de ter ocorrido alguma irregularidade ou falha no andamento de alguma etapa. Mesmo diante desta hipótese os resultados são aceitáveis, atendem as exigências normativas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver uma argamassa de revestimento com o intuito de proporcionar um melhor desempenho térmico nas paredes das edificações. A pesquisa envolve a obtenção de um traço de argamassa com a adição de EPS, analisando a viabilidade técnica através de ensaios físicos no estado fresco, e no estado endurecido das argamassas, com enfoque no teste de arrancamento. A pesquisa foi desenvolvida e utiliza como base diversos materiais, como artigos, livros, normas, dentre outros.

Os percentuais de EPS adicionados à mistura se mostraram satisfatórios, partem de um índice que atendam o que cita Recena (2007), no que se refere à aderência instantânea das argamassas, partindo do percentual de 20 %, que demonstrou um início de mudança de comportamento quando comparado ao traço padrão, e ao percentual de 40 % que quando comparado aos demais demonstrou grande perda de aderência inicial ao substrato.

No estado fresco, nos parâmetros de índice de consistência, teve uma coerência dos valores, devido à insistência de obter se resultados com pouca variação a fim de manter as mesmas condições iniciais da argamassa.

Ainda nos testes de estado fresco, podem ser apontadas as variações do índice densidade que se mostra bastante atrativo a seguir com o andamento dos testes, assim como o de retenção de água que se mostrou com apenas 3 % de variabilidade do traço padrão ao traço de 40 %, visto que a retenção de água na argamassa está diretamente relacionada com a trabalhabilidade.

No estado endurecido a densidade aparente da argamassa demonstrou ter se comportado de acordo com o esperado, diminuindo gradativamente, conforme o aumento dos percentuais de EPS na argamassa. As resistências á compressão e atração na flexão mostram se dentro as exigências, ficando classificadas como R1, R2, R3, e R4.

Nos resultados de absorção por capilaridade enfatizo em dizer que os resultados são bem melhores que os esperados, eram esperados que com a adição de EPS a composição da mistura, a argamassa tendesse a se comportar com melhorias no aspecto de permeabilidade, conforme ilustra a figura 11 do teste de coeficiente de capilaridade assim como a tabela 16, é possível a identificação visualmente deste fato.

O principal teste realizado neste estudo foi o de potencial de aderência a tração, onde utilizou-se de substrato de tijolos cerâmicos maciços com a aplicação de chapisco, as maiores resistências encontradas foram nos traços de 20% ,30% e 40%, os traços de 25 % e 35 % tiveram resultados menores, porém dentro das exigências brasileiras. Existem possíveis causas para a variação dos resultados, pois estes testes foram executados em oportunidades diferentes, primeiramente foram realizados os ensaios na argamassa de 20 %, 30 %, e 40%, buscando obter parâmetros mais retilíneos optou-se por realizar testes em argamassa de 25 % e 35%.

Dando segmento para este estudo é necessário fazer um comparativo com a transmitância térmica citada pela NBR 15220 (ABNT 2005) e NBR 15575 (ABNT2013), se faz por necessário a realização do teste denominado placa quente protegida, pelo qual pode se obter a capacidade térmica da argamassa, assim então ser possível a realização dos cálculos previstos na NBR 15220 (ABNT 2005), onde irá se obter o valor de transmitância térmica do conjunto tijolo maciço/reboco, assim como pra qualquer outro conjunto que receberá a argamassa de EPS.

Outro ponto a ser abordado é o fato de que esta argamassa trata se de uma argamassa de emboço, o que faz dela um revestimento sem acabamento liso, o que se sugere nesta questão é eu se faça o uso do acabamento denominado Reboco

que consiste em uma fina camada de revestimento, para que se possa gerar uma superfície lisa e sem imperfeições.

Assim como a realização de testes de eficiência térmica, este estudo pode ser lapidado, a partir dos resultados obtidos pode se ter como conclusão de que a argamassa atende as expectativas, então partir daí realizar testes mais aprofundados, trabalhando com a granulometria dos materiais. Existem no mercado empresas que vem trabalhando na melhoria da eficácia das perolas de isopor, elas garantem uma melhora de cerca de 20 a 30% nos resultados, o que pode melhorar ainda mais os resultados preliminares.

Este estudo demonstrou que mesmo com a adição de EPS na argamassa, a mistura manteve as características exigidas pelas normativas Brasileiras, mantendo os parâmetros de qualidade no estado fresco e endurecido assim como os parâmetros de trabalhabilidade. Demonstrando grandes ganhos a níveis de densidade o que acarreta diretamente na eficiência térmica da argamassa.

Assim fica definido que o traço de 35% e 40% ficam dentre as expectativas atendendo os requisitos propostos no estudo, podendo a partir destes, prosseguir com a análise de capacidade térmica proposta no referido texto.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220**: Desempenho térmico de Edificações – Parte 2. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270**: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45:** Gregados-Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52:** Agregado miúdo-determinação de massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação de absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 1328:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto-Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas-Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578:** Cimento Portland composto. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de construção.** São Paulo: Pini, 2012.

BAÍA, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e execução de revestimentos de argamassa.** 4. ed. São Paulo: Nome da Rosa, 2008.

BORGES, Alberto de Campos; MONTEFUSCO, Elizabete; LEITE, Jaime Lopes. **Prática das pequenas construções.** 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher. 1996. v. 1.

CARASEK, Helena. Materiais de construção civil e princípios da ciência da engenharia de materiais. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Argamassas.** São Paulo: IBRACON, 2007. cap. 26, p. 863-904. v. 2.

CHEMIN, Beatris Francisca. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos.** 3. ed. Lajeado: Univates, 2015.

COSTA, Ennio Cruz da. **Arquitetura ecológica:** condicionamento térmico natural. São Paulo: Edgard Blucher, 1982.

DICIONÁRIO DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Disponível em:  
<<http://acropoleengenharia.com.br/dicionario.html>>. Acesso em: 15 maio 2017.

ESO. **Reboco projetado.** jun. 07 th 2013. Disponível em:<<http://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=reboco>>. Acesso em: 15 maio 2017.

FIORITO, Antonio J . S. I. **Manual de argamassas e revestimentos, estudos e procedimentos de execução.** 2. ed. São Paulo: Pini , 2009.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico.** 8. ed. São Paulo:Setudio nobel 2007.

INCOPERA, Franki P.; DEWITT, David. **Fundamentos de transferência de calor e de massa.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

PORTAL BRASIL. **Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)**. Disponível em: < <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2011/11/painel-intergovernamental-sobre-mudancas-climaticas-ipcc>>. Acesso em: 15 maio 2017.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo argamassa**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Fernández, LUCIO, María del Pilar Baptista. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

TRANSMISSÃO de calor. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/ArthurCarlosdeOliveira/transmisso-de-calor-7674422>>. Acesso em: 15 maio 2017.