



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MOIZES DE SOUZA XAVIER

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM USO DE  
VERMICULITA EXPANDIDA COMO SUBSTITUTO PARCIAL DA AREIA  
NATURAL**

ANGICOS – RN  
2018

MOIZES DE SOUZA XAVIER

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM USO DE  
VERMICULITA EXPANDIDA COMO SUBSTITUTO PARCIAL DA AREIA  
NATURAL**

Trabalho Final de Graduação apresentado  
ao Departamento de Engenharias da  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido,  
campus Angicos, para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Janaína Salústio da Silva,  
Prof(a) Ma.

ANGICOS – RN

2018

MOIZES DE SOUZA XAVIER

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM USO DE  
VERMICULITA EXPANDIDA COMO SUBSTITUTO PARCIAL DA AREIA  
NATURAL**

Trabalho Final de Graduação apresentado  
ao Departamento de Engenharias da  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido,  
campus Angicos, para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

APROVADO EM: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Janaína Salústio da Silva, Prof(a) Ma (UFERSA)  
Orientadora

---

Kleber Cavalcanti Cabral, Prof. Dr (UFERSA)  
1º Membro

---

José Diego de Almeida Lopes, Engenheiro Civil  
2º Membro

*À minha amada esposa  
Daniele, e à minha querida filha  
Ana Líz, amo vocês!*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente quero agradecer a Deus por ter sido comigo em todos os momentos dessa caminhada, nos momentos difíceis sempre me ajudou, estendendo a sua mão poderosa ao meu favor, hoje posso ver o cumprimento de suas promessas em minha vida.

À minha esposa Daniele que sempre foi paciente, fazendo sempre o melhor em todos os sentidos para que eu pudesse conseguir os meus objetivos, obrigado por tudo meu amor!

À minha filha Ana Líz que ainda nem sabe o quanto contribuiu para que eu pudesse concluir essa etapa, seus olhinhos sempre me pedindo “continua papai”, você foi o melhor presente que Deus me deu, obrigado minha flor.

À minha família por estarem ao meu lado e possibilitarem a realização desse sonho, meu pai Washington Xavier que me incentivou a seguir esse caminho, minha mãe Solange Maria que sempre me aconselhou nos momentos em que pensei desistir, minha irmã Miriam, e todos aqueles tios, avós, primos e amigos que de alguma forma me ajudaram a chegar até aqui.

Aos irmãos em Cristo Jesus que sempre oravam por nós, para que Deus pudesse fazer tudo à Seu tempo, que torciam e vibravam a cada conquista, a todos vocês meu muito obrigado!

Ao presidente em exercício da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, Alexandre Wanderley, que não fez questão em me liberar do trabalho algumas vezes para que pudesse estar presente nas aulas.

Aos professores da Universidade Federal Rural do Semi-Árido que contribuíram com seus conhecimentos, com conselhos e com ajuda nos momentos necessários durante todo esse tempo, com toda certeza vocês serviram de inspiração na minha vida profissional.

À minha orientadora Janaína Salústio, que tive a oportunidade de ser aluno e dedicou o seu tempo para me passar às orientações necessárias à realização dessa pesquisa, sem ela não teria conseguido. Agradeço a minha banca, composta pelo professor Kleber Cabral o qual também tive a

oportunidade de ser aluno, por ter aceitado o convite, como também ao Engenheiro Civil José Diego, que foi meu colega em algumas disciplinas.

Aos técnicos dos laboratórios da UFERSA e do IFRN, Ádna e Valterson, que contribuíram o máximo com seus conhecimentos para que essa pesquisa pudesse ser realizada, sem vocês não conseguiria dar prosseguimento à parte experimental deste trabalho.

A todos os colegas e amigos que fiz durante todo esse tempo, aos que tive a oportunidade de poder estudar junto e hoje já são excelentes profissionais, aos que conheci a pouco, mas que também contribuíram bastante e aos que apesar de seguirem outras áreas ajudaram de alguma forma.

A todos o meu muito obrigado, que Deus possa abençoar todos vocês em todos os seguimentos das suas vidas. Saibam que todos contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui!

*“Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos e não tivesse caridade, seria como um metal que soa ou como um sino que tine”.*

*Bíblia Sagrada: I Coríntios 13:1*

## RESUMO

Com o aumento das tecnologias disponíveis e a necessidade de adequação a normas que visam o desempenho das edificações, o estudo de novos materiais que possam agregar características não disponíveis nas argamassas convencionais é de suma importância, principalmente quanto à eficiência energética e conforto térmico. Nessa perspectiva, o presente trabalho se propõe a investigar as características de isolamento térmico em placas cimentícia, que simulam o revestimento, com proporções de substituição de areia natural por vermiculita expandida definidas em 0%, 25%, 50% e 75%. Foram também analisadas propriedades no estado fresco, como densidade e consistência, e no estado endurecido como resistência à tração na flexão, resistência à compressão e absorção por capilaridade em cada um dos traços. Para analisar o desempenho térmico de cada traço, foram produzidas placas cimentícia de cada teor de substituição. Os resultados apontam que a argamassa com 75% de vermiculita expandida teve o melhor comportamento térmico, já o traço com que melhor atendeu as propriedades termomecânicas foi com substituição de 50% do agregado leve, apresentando inclusive valores de resistência mecânica maiores que o da argamassa com teor de 0%.

**Palavras-chave:** Desempenho térmico. Eficiência energética. Propriedades termomecânicas. Agregado leve.



## ABSTRACT

With the increase of available technologies and the need to adapt to norms that aim at the performance of buildings, the study of new materials that can add characteristics not available in conventional mortars is of paramount importance, mainly in terms of energy efficiency and thermal comfort. In this perspective, the present work proposes to investigate the thermal insulation characteristics in cement slabs, which simulate the coating, with proportions of replacement of natural sand by expanded vermiculite defined in 0%, 25%, 50% and 75%. Fresh properties were also analyzed as density and consistency, and in the hardened state as tensile strength in bending, compressive strength and capillary absorption in each of the traces. To analyze the thermal performance of each trace, cement plates of each substitution content were produced. The results show that the mortar with 75% expanded vermiculite had the best thermal behavior, and the trait with the best thermomechanical properties was replaced with 50% of the light aggregate, presenting mechanical strength values higher than that of mortar with content of 0%.

**Keywords:** Thermal performance. Energy efficiency. Thermomechanical properties. Lightweight aggregate.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> – Classificação das argamassas pela densidade no estado fresco ..                                 | 24 |
| <b>Tabela 2</b> – Composição dos Cimentos Portland comuns e compostos. ....                                       | 26 |
| <b>Tabela 3</b> – Exigências físicas e mecânicas.....                                                             | 27 |
| <b>Tabela 4</b> – Exigências químicas. ....                                                                       | 27 |
| <b>Tabela 5</b> – Exigências químicas. ....                                                                       | 28 |
| <b>Tabela 6</b> – Exigências físicas.....                                                                         | 28 |
| <b>Tabela 7</b> – Classificação quanto à granulometria. ....                                                      | 29 |
| <b>Tabela 8</b> – Classificação dos agregados pelo módulo de finura (MF). ....                                    | 30 |
| <b>Tabela 9</b> – Classificação dos agregados pela massa específica. ....                                         | 30 |
| <b>Tabela 10</b> – Composição química (%) média de vermiculita comerciais brasileiras.....                        | 32 |
| <b>Tabela 11</b> – Classificação granulométrica de padrões de concentrados de vermiculita natural. ....           | 33 |
| <b>Tabela 12</b> – Transmitância térmica de paredes externas .....                                                | 41 |
| <b>Tabela 13</b> – Capacidade térmica de paredes externas.....                                                    | 41 |
| <b>Tabela 14</b> – Índice de finura do cimento .....                                                              | 65 |
| <b>Tabela 15</b> – Caracterização granulométrica e física da areia natural. ....                                  | 66 |
| <b>Tabela 16</b> – Resultados dos ensaios de caracterização granulométrica e física da vermiculita expandida..... | 68 |
| <b>Tabela 17</b> – Espalhamento e relação água/aglomerante para cada traço.....                                   | 69 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> – Critérios de classificação das argamassas.....                                                                                                                                          | 21 |
| <b>Figura 2</b> – Classificação das argamassas segundo a sua função .....                                                                                                                                 | 21 |
| <b>Figura 3</b> – Diferentes alternativas de revestimento de paredes: (a) chapisco + emboço + reboco + pintura; (b) chapisco + camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM). .... | 22 |
| <b>Figura 4</b> – Vermiculita: (a) no aspecto natural, (b) expandida, após aquecimento.....                                                                                                               | 32 |
| <b>Figura 5</b> – Zoneamento bioclimático brasileiro. ....                                                                                                                                                | 40 |
| <b>Figura 6</b> – Fluxograma experimental. ....                                                                                                                                                           | 45 |
| <b>Figura 7</b> – Areia natural. ....                                                                                                                                                                     | 47 |
| <b>Figura 8</b> – Vermiculita expandida .....                                                                                                                                                             | 48 |
| <b>Figura 9</b> – Peneiramento do cimento.....                                                                                                                                                            | 50 |
| <b>Figura 10</b> – Ensaio de pega: (a) momento da determinação do início de pega; (b) penetrações após o início de pega com o molde já invertido.....                                                     | 52 |
| <b>Figura 11</b> – Série de peneiras normais.....                                                                                                                                                         | 54 |
| <b>Figura 12</b> – Ensaio de massa específica pelo frasco de Chapman .....                                                                                                                                | 55 |
| <b>Figura 13</b> – Ensaio de massa unitária. ....                                                                                                                                                         | 56 |
| <b>Figura 14</b> – Abatimento da argamassa: (a) retirada do molde tronco-cônico; (b) medição do espalhamento da argamassa.....                                                                            | 58 |
| <b>Figura 15</b> – Ensaio de densidade no estado fresco: (a) aferição do recipiente com água; (b) recipiente preenchido com argamassa.....                                                                | 59 |
| <b>Figura 16</b> – Moldagem dos corpos de prova. ....                                                                                                                                                     | 60 |
| <b>Figura 17</b> – Ensaio de absorção por capilaridade. ....                                                                                                                                              | 61 |
| <b>Figura 18</b> – Ensaio mecânicos: (a) tração na flexão; (b) compressão. ....                                                                                                                           | 63 |
| <b>Figura 19</b> – Ensaio térmico com o protótipo. ....                                                                                                                                                   | 64 |
| <b>Figura 20</b> – Curva granulométrica da areia natural. ....                                                                                                                                            | 67 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 21</b> – Densidade no estado fresco para cada traço. ....       | 70 |
| <b>Figura 22</b> – Absorção por capilaridade $A_{t10}$ e $A_{t90}$ . .... | 71 |
| <b>Figura 23</b> – Densidade de massa aparente no estado endurecido. .... | 72 |
| <b>Figura 24</b> – Resistência à tração na flexão. ....                   | 73 |
| <b>Figura 25</b> – Resistência à compressão. ....                         | 75 |
| <b>Figura 26</b> – Ensaio térmico da argamassa de referência. ....        | 76 |
| <b>Figura 27</b> – Ensaio térmico da argamassa de 25%. ....               | 77 |
| <b>Figura 28</b> – Ensaio térmico da argamassa de 50%. ....               | 78 |
| <b>Figura 29</b> – Ensaio térmico da argamassa de 75%. ....               | 79 |

## SUMÁRIO

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                          | <b>17</b> |
| <b>2. OBJETIVOS.....</b>                            | <b>19</b> |
| 2.1 OBJETIVO GERAL .....                            | 19        |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                     | 19        |
| <b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>               | <b>20</b> |
| 3.1 ARGAMASSA.....                                  | 20        |
| 3.2 TIPOS DE ARGAMASSAS.....                        | 20        |
| 3.3 ARGAMASSA LEVE .....                            | 25        |
| <b>3.3.1 Materiais constituintes.....</b>           | <b>25</b> |
| 3.3.1.1 Cimento Portland.....                       | 25        |
| 3.3.1.2 Cal Hidratada .....                         | 27        |
| 3.3.1.3 Agregados .....                             | 29        |
| 3.4 VERMICULITA .....                               | 31        |
| <b>3.4.1 Definições .....</b>                       | <b>31</b> |
| <b>3.4.2 Processo de produção.....</b>              | <b>33</b> |
| <b>3.4.3 Usos e aplicações da vermiculita .....</b> | <b>34</b> |
| <b>3.4.4 Vermiculita na construção civil.....</b>   | <b>35</b> |
| 3.5 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA LEVE .....            | 36        |
| <b>3.5.1 Estado fresco.....</b>                     | <b>36</b> |
| 3.5.1.1 Trabalhabilidade .....                      | 36        |
| 3.5.1.2 Índice de consistência .....                | 36        |
| 3.5.1.3 Retenção de água .....                      | 37        |
| 3.5.1.4 Densidade .....                             | 37        |
| 3.5.1.5 Adesão inicial .....                        | 37        |

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.1.6 Retração.....                                        | 37        |
| <b>3.5.2 Estado endurecido .....</b>                         | <b>38</b> |
| 3.5.2.1 Aderência .....                                      | 38        |
| 3.5.2.2 Resistência mecânica.....                            | 38        |
| 3.5.2.3 Capacidade de absorver deformações.....              | 38        |
| 3.5.2.4 Durabilidade .....                                   | 39        |
| 3.6 NORMA DE DESEMPENHO.....                                 | 39        |
| 3.7 ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE AGREGADO LEVE .....             | 41        |
| <b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                          | <b>44</b> |
| 4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....                           | 44        |
| 4.2 MATERIAIS .....                                          | 46        |
| <b>4.2.1 Cimento Portland .....</b>                          | <b>47</b> |
| <b>4.2.2 Cal hidratada.....</b>                              | <b>47</b> |
| <b>4.2.3 Areia natural .....</b>                             | <b>47</b> |
| <b>4.2.4 Vermiculita expandida .....</b>                     | <b>48</b> |
| <b>4.2.5 Água .....</b>                                      | <b>48</b> |
| 4.3 MÉTODOS .....                                            | 48        |
| <b>4.3.1 Caracterização dos materiais.....</b>               | <b>48</b> |
| 4.3.1.1 Cimento Portland.....                                | 49        |
| 4.3.1.2 Agregado Miúdo .....                                 | 53        |
| <b>4.3.2 Ensaio para caracterização das argamassas .....</b> | <b>56</b> |
| 4.3.2.1 Estado fresco .....                                  | 56        |
| 4.3.2.2 Estado endurecido.....                               | 59        |
| 4.3.2.3 Ensaio térmico.....                                  | 63        |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>                       | <b>65</b> |
| 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....                       | 65        |

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5.1.1 Cimento Portland .....</b>                                   | <b>65</b> |
| <b>5.1.2 Caracterização do agregado miúdo.....</b>                    | <b>66</b> |
| 5.1.2.1 <i>Características físicas da areia natural.....</i>          | 66        |
| 5.1.2.2 <i>Características físicas da vermiculita expandida.....</i>  | 68        |
| <b>5.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA .....</b>                            | <b>69</b> |
| <b>5.2.1 Estado fresco.....</b>                                       | <b>69</b> |
| 5.2.1.1 <i>Consistência da argamassa .....</i>                        | 69        |
| 5.2.1.2 <i>Densidade de massa no estado fresco .....</i>              | 70        |
| <b>5.2.2 Estado endurecido .....</b>                                  | <b>71</b> |
| 5.2.2.1 <i>Absorção por capilaridade.....</i>                         | 71        |
| 5.2.2.2 <i>Densidade de massa aparente no estado endurecido .....</i> | 72        |
| 5.2.2.3 <i>Resistência à tração na flexão .....</i>                   | 73        |
| 5.2.2.4 <i>Resistência à compressão .....</i>                         | 74        |
| 5.2.2.5 <i>Ensaio térmico.....</i>                                    | 76        |
| <b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                  | <b>81</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                | <b>82</b> |
| <b>ANEXO A – RELATÓRIOS: RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO .....</b>     | <b>87</b> |
| <b>ANEXO B – RELATÓRIOS: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....</b>           | <b>91</b> |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                                      |                                                                                   |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ABCP                                 | – Associação brasileira de cimento portland                                       |
| ABNT                                 | – Associação brasileira de normas técnicas                                        |
| AN                                   | – Areia natural                                                                   |
| CH III                               | – Cal hidratada tipo III                                                          |
| CP                                   | – Corpo-de-prova                                                                  |
| CP V ARI - RS                        | – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial - Resistente ao ataque por sulfato |
| CT                                   | – Capacidade térmica                                                              |
| $\text{g/dm}^2\cdot\text{min}^{1/2}$ | – Gramas por decímetro quadrado pela raiz de minuto                               |
| h                                    | – Horas                                                                           |
| $\text{meq}/100\text{g}$             | – Miliequivalente de massa atômica por cem gramas                                 |
| min                                  | – Minuto                                                                          |
| MPa                                  | – Mega pascal                                                                     |
| N                                    | – Newton                                                                          |
| N/s                                  | – Newton por segundo                                                              |
| NM                                   | – Norma Mercosur                                                                  |
| NBR                                  | – Norma brasileira regulamentadora                                                |
| s                                    | – Segundo                                                                         |
| U                                    | – Transmitância térmica                                                           |
| VE                                   | – Vermiculita expandida                                                           |
| W                                    | – Watt                                                                            |
| $\text{W/mK}$                        | – Watt por metro Kelvin                                                           |
| $\text{W/m}^2\text{K}$               | – Watt por metro quadrado Kelvin                                                  |
| $\mu\text{m}$                        | – Micrômetro                                                                      |



## 1. INTRODUÇÃO

A argamassa é uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante e água, podendo conter ou não aditivos e adições. Possuem propriedades no estado fresco e no estado endurecido que precisam atender alguns requisitos para que possam desempenhar seu papel com eficiência (NBR 13281, 2005).

A finalidade da argamassa está intrinsecamente ligada ao uso e funções que desempenham na edificação, dessa forma a dosagem, o agregado e o tipo de aglomerante são escolhidos de acordo com o tipo de serviço realizado (CARASEK, 2010).

O agregado miúdo é parte fundamental na composição da argamassa, pois possui a maior fração, sendo responsável direto pelo módulo de elasticidade dinâmico, pela absorção das deformações e resistência mecânica (FORTI, 2017).

Devido o grande consumo de areia natural na argamassa, alguns países substituem a mesma por uma fração de areia artificial, ou agregado reciclado, o que por sua vez diminui o descarte de resíduos sólidos no meio ambiente, sendo ecologicamente correto (SOARES; MARMORE, 2016).

O uso de novos materiais que possam substituir o agregado miúdo é um desafio para a construção civil, já que estudos se fazem necessários para determinação das características das argamassas produzidas com esses novos materiais (BARROS, 2018).

Com o advento da norma de desempenho as edificações precisam atender requisitos mínimos para proporcionar um conforto aos seus usuários, dessa forma o revestimento das paredes internas e externas deve ter a finalidade não apenas de revestir a alvenaria, mas atrasar a propagação do calor e do som (BORGES, 2013).

O emprego de argamassa que proporcione um conforto térmico aos usuários é de suma importância, além de que proporciona uma maior eficiência energética, pois um ambiente climatizado que possui revestimento com propriedade de isolamento térmico tende a diminuir as perdas por transmissão de calor (SOARES; MARMORE, 2016).

É nesse sentido que a utilização de agregado leve, como por exemplo, pedra-pomes, perlita, argila expandida e vermiculita expandida, na argamassa, acarretam em um melhoramento das propriedades termoacústicas (BARROS, 2018).

Estudos recentes sobre a substituição da areia natural pelo agregado leve, principalmente vermiculita expandida, na argamassa usada em revestimento, obtiveram êxito nas propriedades térmicas, principalmente resultados que mostram a eficiência do agregado em impedir a propagação de calor através da argamassa (BARROS, 2018).

Para regiões de temperaturas elevadas, como é o caso do semiárido, um revestimento que proporcione uma melhoria no conforto térmico é muito importante, portanto essa pesquisa avaliará o uso da vermiculita expandida na argamassa, e os efeitos proporcionados pelos diferentes teores de adição.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as propriedades das argamassas adicionadas de vermiculita como substituto parcial do agregado miúdo.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar quantitativamente as propriedades da argamassa no estado fresco, a saber, índice de consistência e densidade;
- Analisar quantitativamente as propriedades da argamassa no estado endurecido, a saber, resistência à compressão, à tração, densidade de massa e absorção;
- Confeccionar placas cimentícia para análise do desempenho térmico e resistência à aderência;
- Avaliar o traço que apresenta as melhores características termomecânicas;
- Avaliar a porcentagem de adição da vermiculita que melhor atende as especificações da NBR 13281:2005 que trata dos requisitos exigíveis para argamassa.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 ARGAMASSA**

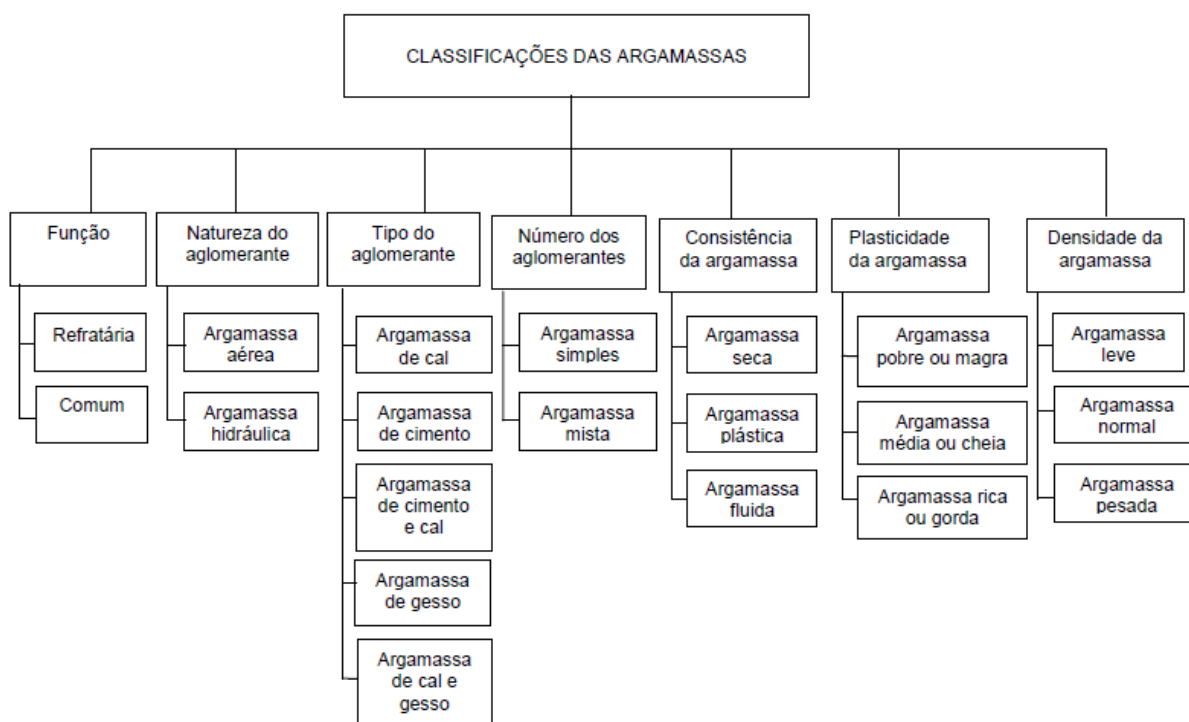
Segundo a NBR 13.281/2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos, argamassa é uma mistura homogênea entre o agregado miúdo, o aglomerante e a água, podendo ainda conter ou não aditivos que melhorem suas características, e ser fabricada na obra ou industrialmente. A argamassa deve ser submetida a alguns ensaios como resistência à compressão, densidade de massa aparente, resistência à tração na flexão, coeficiente de capilaridade, retenção de água e resistência potencial de aderência à tração, que visam determinar a aceitação ou reprovação, caso não atinjam o que é especificado.

As argamassas são comumente utilizadas para assentamento de blocos cerâmicos, pedras e tijolos, no sistema de levantamento de alvenaria ou vedação (encunhamento), bem como é utilizada em revestimento de paredes e tetos, onde existem várias camadas a serem executadas (CARASEK, 2010).

As argamassas possuem funções específicas que devem ser atendidas e para tanto é necessário observar características no estado fresco, como trabalhabilidade, adesão inicial, retenção de água, massa específica e teor de ar incorporado, e características no estado endurecido, como aderência, capacidade de absorção e deformação, retração, resistência mecânica e durabilidade (SOARES; MARMORE, 2016).

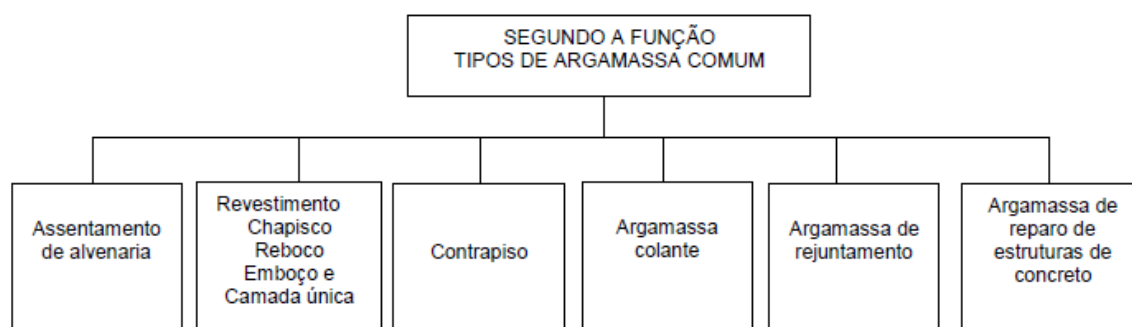
#### **3.2 TIPOS DE ARGAMASSAS**

Há diferentes formas de classificar as argamassas como, por exemplo, quanto à função, a natureza do aglomerante, tipo de aglomerante, o número de aglomerante, a consistência, a plasticidade, a densidade, entre outros. A Figura 1 - ilustra alguns critérios adotados para classificar as argamassas.

**Figura 1** – Critérios de classificação das argamassas

**Fonte:** Carasek (2010).

As argamassas que são denominadas comuns são classificadas de acordo com o uso e aplicação na construção civil, sendo agrupadas como na Figura 2.

**Figura 2** – Classificação das argamassas segundo a sua função

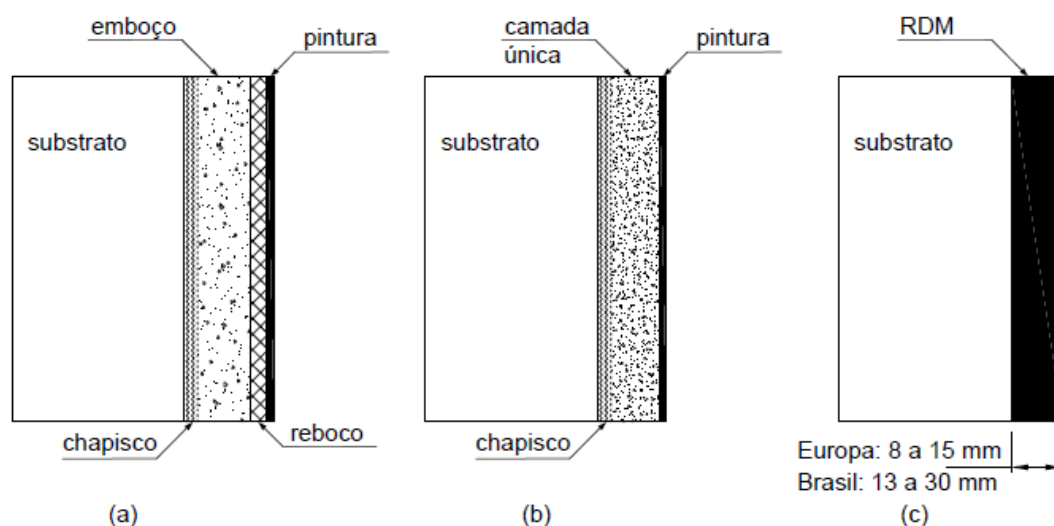
**Fonte:** Carasek (2010).

As argamassas de assentamento possuem uma importância essencial para as construções que usem como materiais pedras, blocos cerâmicos e tijolos, devido a sua função de unir tais materias, proporcionando uma distribuição de esforços mais uniforme (SANTIAGO, 2007).

A argamassa usada com essa aplicação deve selar as juntas de forma que garanta a estanqueidade da parede, e ainda absorver as deformações naturais da alvenaria quer sejam de origem térmica ou higroscópica, (CARASEK, 2010).

Já a argamassa de revestimento, segundo a NBR 13529/2013 - Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânica, deve ter a função de cobrir uma determinada superfície, para promover estanqueidade e deixar o substrato pronto para receber o acabamento final, dividindo-se em várias camadas que possuem funções distintas, como mostra a Figura 3.

**Figura 3** – Diferentes alternativas de revestimento de paredes: (a) chapisco + emboço + reboco + pintura; (b) chapisco + camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).



**Fonte:** Carasek, (2010).

O chapisco possui a função de preparar a base e é constituído por uma argamassa fluida que uniformiza a absorção de água da argamassa pelos blocos cerâmicos, melhorando a aderência da camada seguinte, muito utilizado principalmente em paredes externas (CARASEK, 2010).

O emboço é uma camada subsequente ao chapisco, tendo como finalidade a regularização da superfície, esta é mais consistente e espessa permitindo que haja uma camada posterior de acabamento como reboco ou revestimento cerâmico (CINTRA, 2013).

O reboco ou massa fina é aplicado após o emboço com a finalidade de tornar a superfície fina, sem imperfeições, ou seja, uniformizar a superfície para receber o revestimento decorativo (NBR 13281, 2005).

A camada única ou reboco paulista é aplicado após o chapisco substituindo o reboco e o emboço; tem a finalidade de preparar o substrato para receber a camada decorativa, possui grande aplicação devido o baixo custo e a facilidade de aplicação, o mais utilizado no Brasil (CINTRA, 2013; CARASEK, 2010).

O revestimento decorativo monocamada ou monocapa (RDM) é um revestimento aplicado em uma camada única responsável por todo o processo de regularização e de decoração, sua composição é variável de acordo com o fabricante, muito utilizado na Europa, no Brasil não é normatizado e ainda tem pouca utilização (CARASEK, 2010).

No que diz respeito às diversas camadas de revestimento de argamassa, podem ser citadas a função de regularização do substrato, proteção contra ação de agentes externos deteriorantes, valorização do imóvel proporcionando estética agradável, além de auxiliar a vedação no desempenho de alguns requisitos tais como isolamento termoacústico e estanqueidade. Segundo Carasek (2010) o revestimento, ao integrar o sistema de vedação dos edifícios, fica responsável por aproximadamente 30% do isolamento térmico, 50% do isolamento acústico e de 70 a 100% da estanqueidade.

Com relação ao desempenho do revestimento sobre as propriedades de conforto termoacústico, observa-se que o emprego de novos materiais alternativos na confecção de argamassa conseguiu suprir tais carências observadas, (o isolamento térmico e acústico), uma vez que as argamassas convencionais não possuem propriedades que satisfaçam os requisitos necessários a um bom isolamento. Esses materiais que são empregados na argamassa possuem como característica principal a baixa densidade (BARROS, 2018).

Os materiais que constituem a argamassa influenciam diretamente na massa específica, como o agregado possui a maior fração em relação aos aglomerantes na confecção da argamassa, este é o responsável direto pelo

aumento ou redução da densidade. Para Barros (2018), a utilização de agregados leves devem produzir argamassas com características mecânicas semelhantes às argamassas tradicionais.

Para a produção de argamassa leve, são utilizados minerais de baixa densidade aparente, podendo estes ser naturais, sintéticos ou subprodutos industriais, os mais utilizados na construção civil são a argila expandida, a vermiculita, a perlita e os tijolos isolantes moídos (CINTRA, 2013).

Carasek (2010) traz uma classificação, que é apresentada na Tabela 1, de acordo com a densidade das argamassas, relacionando-as com os seus empregos mais usuais.

**Tabela 1** – Classificação das argamassas pela densidade no estado fresco

| Argamassa | Densidade de massa A (g/cm <sup>3</sup> ) | Principais agregados empregados          | Uso/observações               |
|-----------|-------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
| Leve      | < 1,40                                    | Vermiculita, perlita e argila expandida. | Isolamento térmico e acústico |
| Normal    | $1,40 \leq A \leq 2,30$                   | Areia de rio (quartzo) calcário britado  | Aplicações convencionais      |
| Pesada    | > 2,30                                    | Barita (sulfato de bário)                | Blindagem de radiação         |

**Fonte:** Adaptado Carasek (2010).

Na composição das argamassas o agregado é o responsável pela maior fração, sendo assim as características do mesmo influem diretamente nas características das argamassas no estado fresco e endurecido (CARASEK, 2010).

As argamassas tradicionais não possuem características satisfatórias para desempenho térmico, mas com o emprego de novos agregados, principalmente agregados leves, esse problema vai sendo solucionado (BARROS, 2018).



### 3.3 ARGAMASSA LEVE

A argamassa leve, assim como a convencional, é composta por uma fração de material aglomerante (cimento e cal) e uma fração de material geralmente inerte (agregados) e possui uma densidade no estado fresco inferior que  $1.400 \text{ Kg/m}^3$  (CARASEK, 2010).

Para que uma argamassa seja considerada leve e atinja o limite de massa específica especificado, deve possuir grãos porosos e leves e/ou ar incorporado na sua massa, formando uma estrutura micro alveolar. A formação desse tipo de estrutura diminui a densidade da argamassa, pois os poros que anteriormente eram preenchidos ficam vazios, tais vazios dificultam a transmissão de som e calor (BARROS, 2018).

Para a produção de argamassa leve, são utilizados minerais de baixa densidade aparente, podendo estes ser naturais, sintéticos ou subprodutos industriais, os mais utilizados na construção civil são a argila expandida, a vermiculita, a perlita e os tijolos isolantes moídos (CINTRA, 2013).

Alguns materiais podem ser utilizados como isolantes térmicos, a partir do momento que consegue reduzir a difusidade térmica, ou seja, reduzir a taxa de transferência de calor entre um sistema e o meio. O ar contido nos poros da argamassa dificulta a transmissão de calor, devido à sua baixa condutividade térmica. Um projeto de isolamento térmico que contenha argamassa produzida com a adição de alguns materiais, pode se tornar atrativo, pois além de produzir um conforto térmico pode ser responsável por uma maior eficiência energética, já que a energia que seria destinada aos condicionadores de ar artificial será reduzida, proporcionando com isso uma edificação técnica e economicamente viável (BARROS, 2018).

#### **3.3.1 Materiais constituintes**

##### *3.3.1.1 Cimento Portland*

É um pó fino que possui propriedades aglomerantes, ligantes ou aglutinantes, que após entrar em contato com a água passa a endurecer. Essa característica faz com que a utilização do mesmo seja altamente difundida em todo o mundo, sendo o principal aglomerante utilizado na produção (ABCP, 2012).

A principal matéria prima utilizada na produção do cimento portland é o clínquer, havendo ainda adições que determinam os diferentes tipos de cimento, os comuns e compostos, os de alto-forno e pozolânicos, há ainda o cimento portland de alta resistência inicial, cujas proporções dos materiais são apresentadas na Tabela 2 (ABCP, 2012).

**Tabela 2** – Composição dos Cimentos Portland comuns e compostos.

| Tipo de Cimento                              | Adições                                                                     | Sigla                    | Norma |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|
| Cimento Portland Comum                       | Escória, pozolana ou fíler (até 5%)                                         | CP I-S 32<br>CP I-S 40   | 5732  |
| Cimento Portland Composto                    | Escória (6-34%)                                                             | CP II-E 32<br>CP II-E 40 | 11578 |
|                                              | Pozolana (6-14%)                                                            | CP II-Z 32               |       |
|                                              | Fíler (6-10%)                                                               | CP II-F 32<br>CP II-F 40 |       |
| Cimento Portland de Alto-Forno               | Escória (35-70%)                                                            | CP III 32<br>CP III 40   | 5735  |
| Cimento Portland Pozolânico                  | Pozolana (15-50%)                                                           | CP IV 32                 | 5736  |
| Cimento Portland de Alta Resistência Inicial | Materiais carbonáticos (até 5%)                                             | CP V-ARI                 | 5733  |
| Cimento Portland Resistente aos Sulfatos     | Estes cimentos são designados pela sigla RS. Ex.: CP III-40 RS, CP V-ARI RS |                          | 5737  |

**Fonte:** Adaptado do site ABCP (2018).

Há ainda outros tipos de cimento portland, como por exemplo, o cimento branco, que pode ser estrutural ou não estrutural, e o cimento para poços petrolíferos cuja funcionalidade se restringe apenas a cimentação de poços, uma vez que apresenta características diferenciadas dos demais tipos, pois é necessário manter as suas propriedades em elevadas condições de profundidade e pressão (ABCP, 2012).

As normas citadas na Tabela 2 foram unificadas na NBR 16697 em Julho deste ano, todavia as alterações ocorreram principalmente sobre o teor de adição de fíler e alguns ensaios.

Cada tipo de cimento portland possui uma norma específica onde são dispostas as características químicas e físicas exigidas para que o cimento

atenda as necessidades à que foram fabricados, de acordo com cada classificação, sendo assim a Tabela 3 apresenta as exigências físicas e mecânicas e a Tabela 4 as exigências químicas (ABCP, 2012).

**Tabela 3** – Exigências físicas e mecânicas.

| Tipo de cimento portland      | Classe | Finura                       |                                      | Tempos de pega |                     | Expansibilidade    |               | Resistência à compressão |              |              |               |                       |
|-------------------------------|--------|------------------------------|--------------------------------------|----------------|---------------------|--------------------|---------------|--------------------------|--------------|--------------|---------------|-----------------------|
|                               |        | Resíduo na peneira 75 mm (%) | Área específica (m <sup>2</sup> /kg) | Início (h)     | Fim (h)             | A frio (mm)        | A quente (mm) | 1 dia (MPa)              | 3 dias (MPa) | 7 dias (MPa) | 28 dias (MPa) | 91 dias (MPa)         |
| CP I<br>CP I-S                | 25     | ≤ 12,0                       | ≥ 240                                | ≥ 1            | ≤ 10 <sup>(1)</sup> | ≤ 5 <sup>(1)</sup> | ≤ 5           | -                        | ≥ 8,0        | ≥ 15,0       | ≥ 25,0        | -                     |
|                               | 32     |                              | ≥ 260                                |                |                     |                    |               |                          | ≥ 10,0       | ≥ 20,0       | ≥ 32,0        |                       |
|                               | 40     | ≤ 10,0                       | ≥ 280                                |                |                     |                    |               |                          | ≥ 15,0       | ≥ 25,0       | ≥ 40,0        |                       |
| CP II-E<br>CP II-Z<br>CP II-F | 25     | ≤ 12,0                       | ≥ 240                                | ≥ 1            | ≤ 10 <sup>(1)</sup> | ≤ 5 <sup>(1)</sup> | ≤ 5           | -                        | ≥ 8,0        | ≥ 15,0       | ≥ 25,0        | -                     |
|                               | 32     |                              | ≥ 260                                |                |                     |                    |               |                          | ≥ 10,0       | ≥ 20,0       | ≥ 32,0        |                       |
|                               | 40     | ≤ 10,0                       | ≥ 280                                |                |                     |                    |               |                          | ≥ 15,0       | ≥ 25,0       | ≥ 40,0        |                       |
| CP III <sup>(2)</sup>         | 25     | ≤ 8,0                        | -                                    | ≥ 1            | ≤ 12 <sup>(1)</sup> | ≤ 5 <sup>(1)</sup> | ≤ 5           | -                        | ≥ 8,0        | ≥ 15,0       | ≥ 25,0        | ≥ 32,0 <sup>(1)</sup> |
|                               | 32     |                              |                                      |                |                     |                    |               |                          | ≥ 10,0       | ≥ 20,0       | ≥ 32,0        | ≥ 40,0 <sup>(1)</sup> |
|                               | 40     |                              |                                      |                |                     |                    |               |                          | ≥ 12,0       | ≥ 23,0       | ≥ 40,0        | ≥ 48,0 <sup>(1)</sup> |
| CP IV <sup>(2)</sup>          | 25     | ≤ 8,0                        | -                                    | ≥ 1            | ≤ 12 <sup>(1)</sup> | ≤ 5 <sup>(1)</sup> | ≤ 5           | -                        | ≥ 8,0        | ≥ 15,0       | ≥ 25,0        | ≥ 32,0 <sup>(1)</sup> |
|                               | 32     |                              |                                      |                |                     |                    |               |                          | ≥ 10,0       | ≥ 20,0       | ≥ 32,0        | ≥ 40,0 <sup>(1)</sup> |
| CP V-ARI                      |        | ≤ 6,0                        | ≥ 300                                | ≥ 1            | ≤ 10 <sup>(1)</sup> | ≤ 5 <sup>(1)</sup> | ≤ 5           | ≥ 14,0                   | ≥ 24,0       | ≥ 34,0       | -             | -                     |

Fonte: Adaptado ABCP (2012), p.19.

**Tabela 4** – Exigências químicas.

| Tipo de cimento portland      | Resíduo insolúvel (%)    | Perda ao fogo (%) | MgO (%) | SO <sub>3</sub> (%)           | CO <sub>2</sub> (%) | S (%)                |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------|---------|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| CP I<br>CP I-S                | ≤ 1,0<br>≤ 5,0           | ≤ 2,0<br>≤ 4,5    | ≤ 6,5   | ≤ 4,0                         | ≤ 1,0<br>≤ 3,0      | -<br>-               |
| CP II-E<br>CP II-Z<br>CP II-F | ≤ 2,5<br>≤ 16,0<br>≤ 2,5 | ≤ 6,5             | ≤ 6,5   | ≤ 4,0                         | ≤ 5,0               | -<br>-<br>-          |
| CP III                        | ≤ 1,5                    | ≤ 4,5             | -       | ≤ 4,0                         | ≤ 3,0               | ≤ 1,0 <sup>(1)</sup> |
| CP IV <sup>(2) (3)</sup>      | <sup>(4)</sup>           | ≤ 4,5             | ≤ 6,5   | ≤ 4,0                         | ≤ 3,0               | -                    |
| CP V-ARI                      | ≤ 1,0                    | ≤ 4,5             | ≤ 6,5   | ≤ 3,5<br>≤ 4,5 <sup>(5)</sup> | ≤ 3,0               | -                    |

Fonte: Adaptado ABCP (2012), p. 20.

### 3.3.1.2 Cal Hidratada

A cal hidratada é um pó branco obtido pela hidratação da cal virgem, que é obtida a partir do processo de calcinação. É constituída principalmente pelo hidróxido cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda hidróxido de cálcio,

hidróxido de magnésio e óxido de magnésio. As cales estão divididas em três grupos, CH-I, CH-II e CH-III havendo exigências químicas como mostrado na Tabela 5, e exigências físicas apresentadas na Tabela 6 (NBR 7175, 2003).

**Tabela 5** – Exigências químicas.

| Compostos                                                                   |             | Limites |       |        |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|-------|--------|
|                                                                             |             | CH-I    | CH-II | CH-III |
| Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )                                       | Na fábrica  | ≤ 5%    | ≤ 5%  | ≤ 13%  |
|                                                                             | No depósito | ≤ 7%    | ≤ 7%  | ≤ 15%  |
| Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado (CaO+MgO)               |             | ≤ 10%   | ≤ 15% | ≤ 15%  |
| Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO <sub>f</sub> +MgO <sub>f</sub> ) |             | ≥ 90%   | ≥ 88% | ≥ 88%  |

Fonte: Adaptado NBR 7175 (2003), p. 03.

**Tabela 6** – Exigências físicas.

| Compostos                      |                  | Limites                                 |        |        |
|--------------------------------|------------------|-----------------------------------------|--------|--------|
|                                |                  | CH-I                                    | CH-II  | CH-III |
| Finura<br>(% retida acumulada) | Peneira 0,600 mm | ≤ 0,5%                                  | ≤ 0,5% | ≤ 0,5% |
|                                | Peneira 0,075 mm | ≤ 10%                                   | ≤ 15%  | ≤ 15%  |
| Retenção de água               |                  | ≥ 75%                                   | ≥ 75%  | ≥ 70%  |
| Incorporação de areia          |                  | ≥ 3,0                                   | ≥ 2,5  | ≥ 2,2  |
| Estabilidade                   |                  | Ausência de cavidades ou protuberâncias |        |        |
| Plasticidade                   |                  | ≥ 110                                   | ≥ 110  | ≥ 110  |

Fonte: Adaptado NBR 7175 (2003), p. 03.

A cal virgem deve passar por um período de maturação de uma semana, já para a cal hidrata esse período é entre 16 e 24 horas, para que se tenha a hidratação completa, conferindo uma boa qualidade ao material (FORTI, 2017).

A cal hidratada é um componente importante para a produção de argamassa, pois além de gerar economia confere características importantes como a plasticidade melhorando a trabalhabilidade, aumenta a retenção de água, minimiza retração por secagem, auxilia na hidratação do cimento, e ainda confere uma melhor absorção das deformações (FORTI, 2017).

Mesmo a cal sendo considerada hidratada, é necessária a avaliação da porcentagem de óxidos que não foram hidratados, essa proporção é limitada

por norma para cada tipo de cal, pois quanto maior a quantidade destes óxidos presentes na cal, menor a sua capacidade aglomerante, podendo ainda causar manifestações patológicas como “bolhas” no revestimento (FORTI, 2017).

### 3.3.1.3 Agregados

Os agregados são materiais geralmente inertes que quando adicionados a um material com propriedades aglomerantes dão origem as argamassas. Os agregados possuem a finalidade de diminuir o uso de aglomerantes e restringir o movimento da pasta, diminuindo a retração e preencher os vazios (FORTI, 2017).

Os agregados podem ser classificados de acordo com a forma de obtenção, sendo naturais, como areia e cascalho, ou sintéticos que são aqueles que passam por processos de fragmentação como moagem ou britagem (BERTOLINO; PALERMO; BERTOLINO, 2009)

Segundo a NBR 7211/2009 – Agregados para concreto - Especificação, o agregado pode ser classificado de acordo com a sua granulometria, podendo ser denominado de agregado graúdo ou agregado miúdo, como se observa na Tabela 7.

**Tabela 7** – Classificação quanto à granulometria.

| Tipo do Agregado | Malha peneira passante | Malha peneira retida |
|------------------|------------------------|----------------------|
| Agregado Miúdo   | 4,75 mm                | 0,075 mm             |
| Agregado Graúdo  | 75 mm                  | 4,75 mm              |

**Fonte:** Adaptado da NBR 7211 (2009).

Já a NBR NM 248/2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica, traz uma subclassificação granulométrica dos agregados miúdos, levando em consideração seu módulo de finura. A Tabela 8 mostra essa classificação.

**Tabela 8** – Classificação dos agregados pelo módulo de finura (MF).

|                |              |
|----------------|--------------|
| MF < 2,0       | Areia fina   |
| 2,0 < MF < 3,0 | Areia média  |
| MF > 3,0       | Areia grossa |

**Fonte:** Soares e Marmore (2016), p.08.

Há ainda uma classificação segundo a massa específica, em que os mesmos podem ser classificados como agregado leve, normal ou pesado. A argila expandida, o folhelho expandido, a pedra-pomes e a vermiculita expandida são exemplos de agregados leves. Já os agregados normais normalmente são as areias, cascalhos e pedras-britadas, e os agregados pesados se apresentam na forma de barita, limonita, magnetita e hematita, conforme mostrado na Tabela 9 (BERTOLINO; PALERMO; BERTOLINO, 2009).

**Tabela 9** – Classificação dos agregados pela massa específica.

| Classificação | Massa específica $\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|------------------------------------------------|
| Leve          | $\gamma \leq 2000$                             |
| Normal        | $2000 \leq \gamma \leq 3000$                   |
| Pesado        | $\gamma \geq 3000$                             |

**Fonte:** Adaptado da NBR 12655 (2015).

Há minerais que possuem baixa densidade e, quando adicionados às argamassas conferem uma maior leveza e um isolamento termoacústico, já que possuem em suas composições estruturas porosas que acumulam ar, dificultando a passagem do som e do calor (BARROS, 2018).

Tais materiais são empregados para diminuir o peso próprio das estruturas, diminuindo às cargas transmitidas as lajes e vigas, bem como as fundações. Sendo responsável direto por um maior isolamento termoacústico, tornando a edificação um sistema eficaz (CINTRA, 2013).

O mineral utilizado nesse trabalho foi a vermiculita expandida, dessa forma é de suma importância uma melhor compreensão sobre o mineral, que será disposta a seguir.

### 3.4 VERMICULITA

#### 3.4.1 Definições

A vermiculita é um silicato de magnésio hidratado, alumínio e ferro, que possui estrutura micáceo-lamelar e clivagem basal, características que se assemelham as do mineral responsável pela sua origem, à mica. O termo vermiculita também é usado para denominar comercialmente um grupo com dezenove tipos de silicatos, a sua faixa de composição depende do tipo de mica que lhe origina, da variação química ocorrida durante o intemperismo e da troca iônica durante o processo de formação, tendo em vista que a capacidade de troca iônica varia de 100 a 300 meq/100g (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008).

A composição química geral da vermiculita em relação aos óxidos, é 14,4% de MgO, 43,5% de  $Al_2O_3$ , 12,8% de FeO, 11,9% de  $SiO_2$ , 17,9% de  $H_2O$ . São realizados processos para a retirada das impurezas, tornando o produto final um elemento leve, inerte, incombustível, insolúvel em água e em todos os solventes orgânicos (FRANÇA *et al.*, 2016).

Em relação à produção mundial, destaca-se a África do Sul (29,9%), os Estados Unidos da América (23,0%) e o Brasil (15,6%) este último possuindo suas jazidas situadas nos estados da Bahia, Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Paraná, Piauí e Paraíba (BARROS, 2018). Segundo Ugarte et al (2008) os depósitos das terras brasileiras não possuem asbestos, conferindo um maior valor agregado ao mineral e favorecendo o aproveitamento econômico do mesmo. Na Tabela 10 é demonstrada a composição química de algumas jazidas brasileiras.

**Tabela 10** – Composição química (%) média de vermiculita comerciais brasileiras.

| Composto                       | Santa Luzia (PB) | Sancrelândia (GO) | Massapê (PI) |
|--------------------------------|------------------|-------------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 42,8             | 40,4              | 45,10        |
| MgO                            | 19,9             | 18,3              | 23,60        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,8              | 13,0              | 10,20        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,7              | 8,5               | 5,80         |
| K <sub>2</sub> O               | 4,6              | 3,7               | 0,50         |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,0              | 2,5               | 0,10         |
| CaO                            | 0,56             | 1,4               | 3,60         |
| MnO                            | 0,11             | 0,12              | -            |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,86             | 1,0               | 0,70         |
| NiO                            | 0,29             | 0,21              | -            |
| BaO                            | -                | -                 | 0,20         |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,45             | 0,31              | -            |
| H <sub>2</sub> O (total)       | 15,80            | 10,40             | 10,20        |
| Total                          | 99,87            | 100,00            | 100,00       |

Fonte: Ugarte et al (2005), p. 681.

Na construção civil, a vermiculita é utilizada na forma expandida, um processo onde o mineral é aquecido a altas temperaturas transformando as partículas de água presentes de forma intercalada entre as camadas de alumínio e silício, em correntes de ar quente responsável pelo aumento de volume do mineral, esse método é denominado expansão térmica, a Figura 4 ilustra a diferença da vermiculita natural e expandida (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008).

**Figura 4** – Vermiculita: (a) no aspecto natural, (b) expandida, após aquecimento.



(a)



(b)

Fonte: Barros (2018), p. 05.



Por meio deste método o mineral aumenta cerca de 30 vezes o seu volume em relação ao original, na forma expandida a vermiculita é quimicamente ativa, biologicamente inerte e possui baixa densidade (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008).

### 3.4.2 Processo de produção

No Brasil as regiões mais exploradas pelas mineradoras são o Centro-Oeste e o Nordeste, sendo a primeira a maior responsável por boa parte da produção do território nacional.

Primeiramente é realizada a etapa de prospecção e pesquisa, esta etapa consiste na averiguação da existência de veios do material. O processo de prospecção é semelhante ao de qualquer outro mineral onde são empregados métodos e técnicas tradicionais como mapeamento geológico método geofísico de eletrorresistividade, magnetometria e potencial espontâneo, para identificar os veios e bolsões de vermiculita de forma à evitar trabalhos de sondagens em lugares estéreis (CINTRA, 2013).

Em seguida ocorre a etapa de lavra, esta ocorre a céu aberto com desmonte mecânico, utiliza-se trator de esteira para fazer a escarificação, e todo o minério retirado é levado à usina de concentração. Os minérios e concentrados são analisados pelo teor de vermiculita que contém e pela granulometria como mostrado na Tabela 11 (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008).

**Tabela 11** – Classificação granulométrica de padrões de concentrados de vermiculita natural.

| Padrão Internacional | Tamanho (mm) | Padrão Americano | Tamanho (mm)  | Padrão Brasileiro | Tamanho (mm) |
|----------------------|--------------|------------------|---------------|-------------------|--------------|
| Grossa               | -8,0 + 2,8   | 1                | -7,0 + 3,327  | -                 | -            |
| Média                | -4,0 + 1,4   | 2                | -3,5 + 1,75   | Média             | 55-95% > 2,4 |
| Fina                 | -2,0 + 0,71  | 3                | -2,0 + 0,6    | Fina              | 65-95% > 1,2 |
| Superfina            | -1,0 + 0,355 | 4                | -0,85 + 0,212 | Superfina         | 70-95% > 0,6 |
| Micrometro           | -0,71 + 0,25 | 5                | -0,3          | Micrometro        | 80-100 > 0,3 |

**Fonte:** Reis (2002) *apud* Ugarte et al (2005), p. 687.

Segundo Reis (2002), nos padrões americano e internacional, o grão do concentrado possui uma faixa de variação de diâmetro, por exemplo, a vermiculita de grau 1 no padrão americano, possui grãos que variam entre 3,327 a 7,0 mm, no padrão internacional uma vermiculita superfina possui granulometria maior que 0,355 mm e menor que 1,0 mm, para o padrão brasileiro a vermiculita fina possui de 65 à 95% dos seus grãos com diâmetro maior que 1,2 mm.

Após a lavra segue-se com o transporte do concentrado da vermiculita da jazida até o local do processamento, que geralmente é próximo ao mercado consumidor, para facilitar sua entrega (CINTRA, 2013).

A etapa de processamento é onde as frações de vermiculita são pesadas e submetidas à expansão térmica, onde passam por temperaturas que variam de 800 a 1100°C e, após o resfriamento, pesa-se novamente e retira-se a ganga residual por separação seca, finalizando sua produção (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008)

### **3.4.3 Usos e aplicações da vermiculita**

Existem no mercado mundial mais de 70 formas de utilização da vermiculita, no Brasil ainda é mais utilizada na horticultura e agricultura (CINTRA, 2013).

Em linhas gerais o uso da vermiculita depende de sua granulometria e pureza, uma vez que, as de granulometria mais finas são utilizadas na construção civil, além de se apresentar como carreadora na produção de fertilizantes e de alimentos para os animais, as de granulometria mais grossas são utilizadas no cultivo de hortaliças e no processo de germinação de sementes (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008).

Devido suas altas características adsorbtivas e adsorbtivas, e baixa elasticidade, a vermiculita é utilizada na fabricação de embalagens industriais para controle de umidade. A partir de um tratamento químico há uma grande possibilidade de tratamento de resíduos nucleares, purificação de água e tratamento de esgotos tóxicos serem realizados com sucesso (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008).

#### 3.4.4 Vermiculita na construção civil

Em sua forma expandida possui aspectos como baixa massa específica, baixa condutividade térmica, pequena propagação sonora e alta resistência ao fogo, tornando a sua utilização bastante difundida para isolamento térmico e acústico, produção de blocos, concretos e argamassas leves, entre outros (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008; BARROS, 2018).

A baixa densidade da vermiculita se dá devido ao acúmulo de ar entre as suas lamelas, depois de expandida sua densidade fica da ordem de 80 – 140 Kg/m<sup>3</sup>; já as areias naturais, apresentam densidades que variam, de acordo a granulometria e umidade da amostra, da ordem de 1500 – 2300 Kg/m<sup>3</sup>, essa diferença causa um impacto significativo sobre o peso próprio da argamassa, bem como dos blocos, influenciando nas cargas levadas às vigas, pilares e distribuídas às fundações. Um concreto fabricado com adição de vermiculita reduz o peso próprio da peça entre 15 e 30% em relação ao concreto estrutural, podendo reduzir até 78% do peso da obra (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008; NTC Brasil, 2018).

Devido o ar entre as lamelas são criados uns pequenos “bolsões” de ar que dificultam a passagem de ondas, tornado o material um ótimo isolante térmico e acústico, por exemplo, uma camada de 2,5 cm funciona como uma laje de concreto de 25 cm (FRANÇA *et al.*, 2016; NTC Brasil, 2018).

Essas características por sua vez, fazem com que a aplicação de argamassas de revestimento adicionada de vermiculita expandida torne o ambiente interno mais confortável termicamente, sendo este o principal fator que propicia a aplicação desse agregado leve em argamassa para revestimento, bem como em blocos de vedação e painéis de concreto.

Com o aumento dos métodos e técnicas construtivas as edificações habitacionais precisam desempenhar funções pré-estabelecidas, para tanto foi criada a NBR 15575/2013, que trata do desempenho das edificações, a qual especifica parâmetros a serem alcançados de forma a garantirem o conforto aos proprietários (BORGES, 2013).

### 3.5 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA LEVE

Para a obtenção de uma boa argamassa alguns parâmetros devem ser alcançados, para que a mesma possa atender às necessidades à que foi designada. As propriedades no estado fresco são trabalhabilidade, índice de consistência, retenção de água, densidade, adesão inicial e retração por secagem, já as propriedades no estado endurecido são a aderência, resistência mecânica, capacidade de absorver deformações, durabilidade e conforto térmico (CARASEK, 2010).

Cada propriedade será descrita a seguir, mostrando a influência do agregado leve em cada uma delas.

#### **3.5.1 Estado fresco**

##### *3.5.1.1 Trabalhabilidade*

A trabalhabilidade é a propriedade no estado fresco que define qualitativamente a facilidade com que as argamassas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas em uma condição homogênea, há outras propriedades interrelacionadas para garantir uma boa trabalhabilidade, são elas: consistência, plasticidade, coesão e exsudação (CARASEK, 2010).

Com a adição de agregado leve, a argamassa obtém uma maior trabalhabilidade, tendo em vista que uma argamassa mais leve proporciona uma menor aplicação de força na hora de manuseá-la, por tanto há uma maior facilidade de misturar, transportar e aplicar sem haver segregação (CARASEK, 2010).

##### *3.5.1.2 Índice de consistência*

A consistência da argamassa indica a maior ou menor facilidade da argamassa de se deformar a partir da ação de cargas, portanto o índice de consistência, quando há um espalhamento específico, permite encontrar a relação água/aglomerante (CARASEK, 2010).

É necessário aumentar a quantidade de água para que haja uma boa consistência da argamassa quando são utilizados agregados leves, pois os mesmos são capazes de reter muita água (BARROS, 2018).

### *3.5.1.3 Retenção de água*

A argamassa aplicada sobre uma superfície está sujeita a perda da água de amassamento, quer seja por evaporação, quer seja por absorção da base, sendo assim a retenção de água é uma propriedade que está associada à capacidade da argamassa de manter a sua trabalhabilidade (CARASEK, 2010).

A argamassa que possui uma maior retenção de água possui um aumento gradual na resistência mecânica, além de permitir ao substrato uma boa aderência que impossibilita que parte da argamassa perca mais água do que outra e cause o deslocamento (FORTI, 2017).

O uso da cal e dos agregados leves proporciona à argamassa uma maior retenção de água, aumentando por sua vez, de acordo com a proporção, a sua resistência mecânica, tornando-a trabalhável por mais tempo (SOARES; MARMORE, 2016).

### *3.5.1.4 Densidade*

No estado fresco a densidade representa a relação massa/volume, levando em consideração a água e o ar incorporado na argamassa, quanto menor essa relação, mais leve é a argamassa, o uso de agregado leve contribui para uma maior leveza da argamassa (CARASEK, 2010).

### *3.5.1.5 Adesão inicial*

A adesão inicial é a capacidade da argamassa fresca em aderir, tão logo entre em contato com um substrato, é também denominada de “pegajosidade”.

A adesão inicial, bem como a aderência, é propiciada pela penetração da pasta nos poros ou saliências da base, onde ocorrem as reações de hidratação dos silicatos e hidróxidos, formando uma espécie de ancoragem (SOARES; MARMORE, 2016; CARASEK, 2010).

### *3.5.1.6 Retração*

A retração ocorre quando o volume da pasta aglomerante varia, quando a argamassa começa a endurecer e a água de amassamento em parte é utilizada nas reações de hidratação e a outra parte evapora, essa propriedade é a principal responsável pelo aparecimento de fissuras, por conseguinte interferindo no processo de estanqueidade e durabilidade (CARASEK, 2010).

Agregados leves que possuem em suas estruturas muitos poros, são eficientes no processo de diminuição da retração, já que ao reterem a água de amassamento, liberam gradativamente ao longo das reações de hidratação do cimento, evitando uma rápida perda dessa água por evaporação, diminuindo a possibilidade da geração de fissuras (CINTRA, 2013).

### **3.5.2 Estado endurecido**

#### **3.5.2.1 Aderência**

É a capacidade da argamassa de se fixar no substrato em que foi aplicada e está relacionada com a resistência de aderência à tração, da resistência aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa. A aderência depende de outras propriedades no estado fresco, da forma de execução, do traço e da forma e/ou limpeza do substrato que será aplicada, podendo ser mensurada pelo ensaio de arrancamento por tração (SOARES; MARMORE, 2016).

O uso de agregado leve na produção de argamassa diminui um pouco a aderência desta com o substrato, todavia essa redução não chega a causar patologias, já que normalmente fica acima dos limites estabelecidos em norma (SOARES; MARMORE, 2016).

#### **3.5.2.2 Resistência mecânica**

A resistência mecânica é a capacidade da argamassa de suportar as cargas de tração, flexão e cisalhamento que são submetidas, possui grande importância, sendo uma característica que determina o sucesso da argamassa nos revestimentos (SOARES; MARMORE, 2016).

Quanto à resistência mecânica, o uso de agregado leve na argamassa proporciona uma redução na capacidade de resistir os esforços solicitantes, que por sua vez estão ligados ao módulo de elasticidade dinâmico do material, quanto menor este parâmetro menor a resistência (BARROS, 2018; CARASEK, 2010).

#### **3.5.2.3 Capacidade de absorver deformações**

É uma característica das argamassas de absorver deformações intrínsecas e pequenas deformações da base, sem desagregar e formar

fissuras que prejudiquem as propriedades de estanqueidade e durabilidade, uma vez que as estruturas podem ficar expostas apresentando infiltrações de água e agentes agressivos à estrutura (CINTRA, 2013).

A capacidade de absorver deformações aumenta de acordo com o aumento do teor de agregado leve, pois a redução do módulo de elasticidade dinâmico permite a argamassa uma maior absorção dos esforços sem que haja desagregação ou apareçam fissuras (BARROS, 2018).

#### *3.5.2.4 Durabilidade*

Propriedade das argamassas que suportam o desgaste a vida útil do revestimento, tendo em vista que o mesmo fica exposto às intempéries, alguns fatores interferem diretamente na durabilidade do revestimento, a qualidade dos materiais, a forma de execução, a espessura excessiva, a falta de manutenção preventiva e eventuais fissuras (SOARES; MARMORE, 2016).

#### *3.5.2.5 Conforto térmico*

As argamassas convencionais não apresentam um bom conforto térmico, sendo necessário o emprego de novos materiais, entre eles estão os agregados leves que possuem sua microestrutura porosa. Após a secagem da argamassa a água que preenchia esses poros evapora, com isso os vazios ficam cheios de ar, dificultando a passagem de calor (BARROS, 2018).

### **3.6 NORMA DE DESEMPENHO**

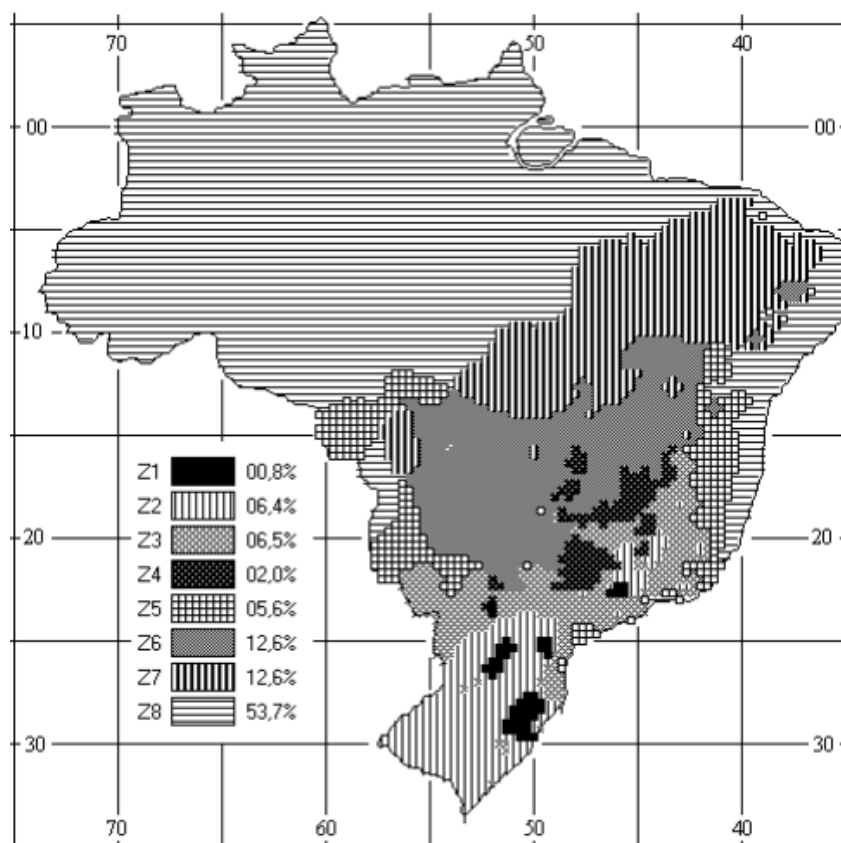
Desde 2013, está em vigor a NBR 15575/2013 – Edificações habitacionais – Desempenho, esta norma foi estabelecida buscando atender as necessidades e exigências dos usuários, e é composto de seis partes: requisitos gerais; requisito para os sistemas estruturais; requisito para os sistemas de pisos; requisitos para os sistemas de vedações internas e externas; requisitos para os sistemas de cobertura; requisitos para os sistemas hidrossanitários (BORGES, 2013).

A NBR 15575/2013 – Parte 4: Edificações habitacionais – Desempenho: Sistema de vedações verticais internas e externas – SVVIE, diz que o conforto térmico está intimamente ligado ao desempenho do sistema de vedação interna e externa da edificação. Basicamente há três parâmetros que são

verificados e balizados de forma a conceder um grau de satisfação maior, são eles: a transmitância, capacidade térmica e a abertura para ventilação.

Segundo a NBR 15220/2003 – Parte 3: Desempenho térmico das edificações, para que esses parâmetros sejam calculados foi feito um zoneamento bioclimático no país, apresentado na Figura 5.

**Figura 5** – Zoneamento bioclimático brasileiro.



**Fonte:** NBR 15220 (2003) p. 03.

A transmitância térmica é capacidade de um material de transmitir energia por unidade de área e diferença de temperatura, é dado por  $U$  e sua unidade de medida é o  $W/m^2.K$ , os limites de transmitância térmica por zona estão dispostos na Tabela 12, já a capacidade térmica é a quantidade de energia necessária para um corpo aquecer em um grau, é dado por  $CT$  tendo como unidade de medida  $KJ/m^2.K$ . Os valores mínimos por zona estão descritos a seguir na Tabela 13 (NBR 15575, 2013).



**Tabela 12** – Transmitância térmica de paredes externas

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

<sup>a</sup>  $\alpha$  é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: NBR 15575 (2013), p. 26.

A transmitância térmica diminui de acordo com o uso de agregado leve na argamassa, a energia transmitida por unidade de área passa por uma redução devido à baixa condutividade térmica do ar, que está contido nos poros das argamassas (BARROS, 2018).

**Tabela 13** – Capacidade térmica de paredes externas.

| Capacidade térmica (CT) |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| kJ / m <sup>2</sup> .K  |                           |
| Zona 8                  | Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7 |
| Sem exigência           | $\geq 130$                |

Fonte: NBR 15575 (2013), p. 26.

A capacidade térmica diminui com a utilização do agregado leve, já que um revestimento mais leve e poroso exige menos energia para que possa aquecer, para tanto é necessário uma dosagem de substituição entre o agregado leve e o comum, para que esse parâmetro possa ser atendido de acordo com o que é requisitado em norma (BARROS, 2018).

### 3.7 ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE AGREGADO LEVE

Com o advento da norma de desempenho e necessidade de readequação das construções as novas exigências, muitos estudos vêm sendo realizados com argamassa com incorporação de agregados leves com o intuito de avaliar suas características e em especial sua capacidade de melhoria do conforto térmico.

No estudo realizado por Barros (2018), foram produzidas argamassas com adição de vermiculita nas proporções de 25%, 50%, 75% e 100%, e observou-se que à medida que os teores de substituição da areia natural por vermiculita expandida aumentavam, as relações água/aglomerante aumentavam, tendo em vista as características do agregado de absorver água, a necessidade de se manter a trabalhabilidade da argamassa. A medida que se aumentou a água de amassamento, notou-se uma diminuição na resistência mecânica e nas densidades no estado fresco e no estado endurecido, houve ainda um aumento na absorção por capilaridade.

Nesse mesmo estudo, também foi avaliado o desempenho térmico das argamassas com vermiculita expandida, que foram considerados satisfatórios, atendendo os limites especificados na NBR 15575:2013. Diante de todos os resultados obtidos, a argamassa com substituição de 25% da areia natural pela vermiculita expandida foi considerada a que obteve os melhores resultados termomecânicos entre as demais.

Para Soares e Marmore (2016) o uso de vermiculita expandida em substituição de parte da areia natural na argamassa, interfere diretamente nas propriedades físicas e mecânicas, conferindo uma menor densidade, um maior teor de ar incorporado o que diminui o peso do revestimento. Observou-se também que os valores de resistência à tração na flexão e à compressão axial diminuem em relação à argamassa de referência, chegando até uma redução de 61% na compressão axial. Em relação às propriedades térmicas as autoras notaram uma grande diferença de comportamento, pois a argamassa adicionada de vermiculita expandida apresentou valores muito baixos de transmissão de calor em relação a argamassa de referência, tendo em vista que foram confeccionadas paredes de tijolos cerâmicos e blocos de concreto para a aplicação da argamassa, que por sua vez simulam as paredes de uma edificação, com isso há um maior conforto térmico e uma eficiência energética.

Segundo Passos, Carasek e Amaral (2016) o uso de argamassa com 91,7% de substituição da areia por EPS reciclado e lã de rocha, lã de vidro e vermiculita foi considerado o mais adequado para o sistema de vedação. A partir de ensaios realizados notou-se que a argamassa atrasa o ganho de temperatura e impede o fluxo rápido de calor, já a capacidade térmica e a

transmitância térmica, parâmetros prescritos na NBR 15575 (2013), foram atendidos para as zonas bioclimáticas 3 a 8. Os demais parâmetros de desempenho da argamassa como estanqueidade, aderência e durabilidade apresentaram comportamentos adequados, tornando-a possível de ser utilizada no revestimento externo.

Na pesquisa realizada por Cintra (2013) além de vermiculita expandida, utilizou-se borracha reciclada de pneu, com base nesse estudo a autora explica que não houve uma mudança significativa na argamassa no estado fresco produzida de forma conjunta, já que a borracha reciclada de pneu diminui o teor de ar incorporado, mas não afeta a trabalhabilidade, a aplicabilidade e o poder de cobertura das argamassas. Notou-se que houve um ganho de resistência uniaxial e diametral, além da resistência à aderência da argamassa adicionada de borracha reciclada quando comparada com adição apenas de vermiculita expandida, e ainda não houve alterações na retração de secagem e na capilaridade entre ambas. Foram observadas as propriedades termoacústicas e de flamabilidade, que apesar da diminuição do teor de ar incorporado com a adição da borracha reciclada, não sofreram impactos negativos, tendo em vista o atendimento dos requisitos propostos em norma.

Para as argamassas com adição somente de vermiculita expandida, nota-se uma perda na resistência, uma diminuição na massa e uma maior absorção por capilaridade.

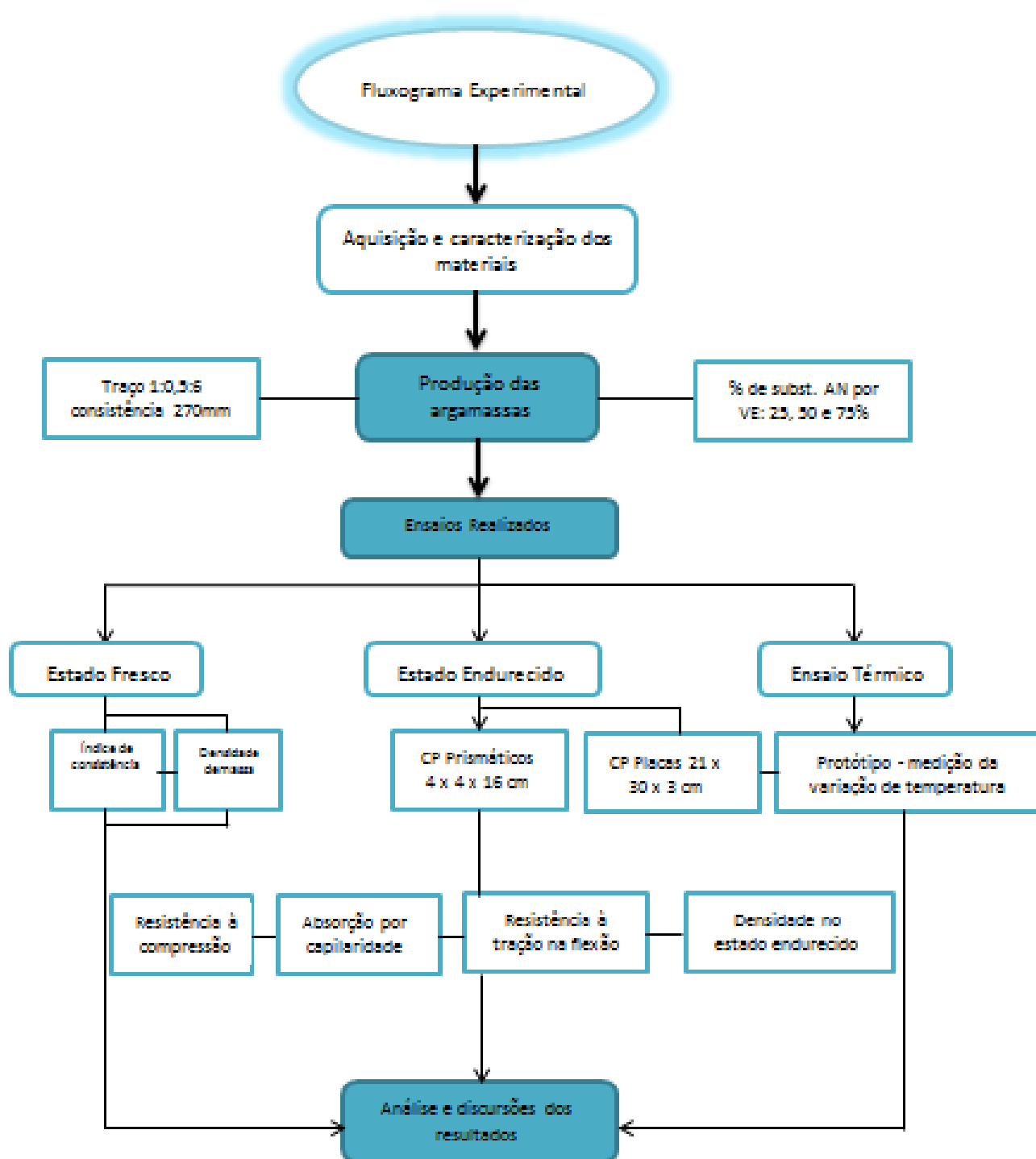
#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

No decorrer deste capítulo serão descritas as formas de elaboração desse trabalho, os materiais utilizados e métodos adotados para a obtenção dos resultados propostos anteriormente nos objetivos, a seguir a Figura 6 apresenta um fluxograma do desenvolvimento do trabalho.

##### **4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

No programa experimental foram utilizados traços em volume na proporção de 1:0,5:6 (cimento, cal e agregado), normalmente o mais utilizado em obras da região, sendo um traço de referência (REF), e demais traços com substituição da areia natural por teores de 25%, 50% e 75% de vermiculita expandida, denominados VE25, VE50 e VE75 respectivamente. A figura 6 ilustra os procedimentos adotados na realização dessa pesquisa.

**Figura 6** – Fluxograma experimental.



Notas: AN (areia natural); VE (vermiculita expandida); CP (Corpo-de-prova).

Fonte: Acervo próprio (2018).

Como observado no fluxograma da Figura 6, as amostras dos quatro traços foram submetidas a ensaios de espalhamento na mesa, densidade, resistência à compressão e à tração na flexão, absorção por capilaridade e ensaio térmico.

O ensaio de consistência foi realizado a fim de determinar a relação água/aglomerante de cada traço, para isso foi determinado um valor limite de espalhamento em  $270 \pm 5$  mm, tendo em vista o conhecimento empírico e uma avaliação visual.

Para os ensaios mecânicos foram confeccionados 3 corpos-de-prova prismáticos de cada traço com dimensões de 4 x 4 x 16 cm, e realizados os ensaios de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005) - Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.

Para cada traço foram preparados também uma placa cimentícia com dimensões de 30 x 21 x 3 cm para a realização do ensaio térmico em protótipo que visa a medição da temperatura nas duas faces após as placas serem submetidas a emissão de uma fonte de calor.

Em relação aos materiais utilizados, foram caracterizados o cimento e o agregado miúdo. No cimento foi realizado o ensaio de índice de finura de acordo com a NBR 11579 (ABNT, 2013) - Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75  $\mu$ m (nº 200) e o ensaio de pega em conformidade com a NBR NM 65 (ABNT, 2003) - Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Para o agregado foi realizado o ensaio de granulometria a partir da NBR NM 248 (ABNT, 2003) - Agregados - Determinação da composição granulométrica.

## 4.2 MATERIAIS

Esta fase é responsável pela apresentação dos materiais que serão utilizados na confecção das argamassas, bem como a forma como foram adquiridos e as características e normas que devem ser atendidas para a fabricação.

#### 4.2.1 Cimento Portland

O cimento utilizado para a produção das argamassas foi o CP V ARI – RS, fabricado pela empresa Mizu. A escolha se deu pela grande disponibilidade do comércio local, este tipo de cimento é normatizado pela NBR 5733 (ABNT, 1991) - Cimento Portland de alta resistência inicial.

#### 4.2.2 Cal hidratada

A cal hidratada utilizada na composição das argamassas foi do tipo CH-III da fabricante Carbomil, sendo garantida a fabricação de acordo com a NBR 7175 (ABNT, 2003) - Cal hidratada para argamassas - Requisitos.

#### 4.2.3 Areia natural

A areia natural quartzosa utilizada é proveniente dos leitos de rios, sendo obtida no comércio da região, após a aquisição a areia foi passada na peneira 4,75 mm para a retirada de eventuais impurezas que podem prejudicar as argamassas, uma amostra da areia está ilustrada na Figura 7.

**Figura 7** – Areia natural.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

#### 4.2.4 Vermiculita expandida

A vermiculita expandida estava disponível no Laboratório de Materiais de Construção da UFERSA - Campus Angicos. Possui granulometria fina e foi adquirida junto a uma loja de Araçatuba/SP, ilustrado na Figura 8.

**Figura 8** – Vermiculita expandida



Fonte: Autoria própria, (2018).

#### 4.2.5 Água

A água utilizada foi disponibilizada pela Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN), a concessionária garante que a água atende aos requisitos de potabilidade dispostos na PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.

### 4.3 MÉTODOS

Para a elaboração da pesquisa, após a identificação, apresentação dos materiais, definição dos traços e percentagem de substituição, foram realizados os ensaios que serão abordados nesta seção, a fim de alcançar os objetivos propostos.

#### 4.3.1 Caracterização dos materiais

Alguns procedimentos foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Angicos, e os demais ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção



do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte, campus Mossoró.

#### *4.3.1.1 Cimento Portland*

A caracterização física do cimento ocorreu através de três ensaios, são eles: determinação do índice de finura por meio da peneira 75  $\mu m$  (nº 200), determinação do tempo de pega e determinação da expansibilidade a frio.

Para a realização do ensaio de determinação do índice de finura foram necessários os seguintes materiais:

- Balança de precisão com resolução de 0,01g;
- Bastão confeccionado a partir de tubo de PVC;
- Cronômetro;
- Flanela;
- Peneira nº 200;
- Pincel;
- Vidro de relógio.

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 11579 - 2013 - Determinação da finura por meio da peneira 75  $\mu m$  (nº 200). Inicialmente princípio foi pesada uma amostra de cimento de 50g e colocada em cima da peneira, onde foram realizados movimentos horizontais suaves de vaivém para a retirada dos grãos mais finos durante 5 minutos, o material passante foi descartado e o processo foi repetido por 20 minutos parando em intervalos regulares para limpeza da tela da peneira e novamente o material passante foi descartado. A Figura 9 mostra a peneira utilizada no ensaio.

**Figura 9** – Peneiramento do cimento.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

O peneiramento final ocorre durante 60s através de movimentos rápidos de vaivém, e a cada 10s o conjunto foi girado a 60°, após esse processo é realizado a limpeza e o material passante é pesado, não devendo ultrapassar uma massa maior que 0,05g, o que é equivalente a 0,1% da massa inicial. Caso a massa do material passante seja superior a 0,1% da massa inicial, deve-se repetir o processo de peneiramento final até que a massa passante atenda o limite especificado por norma.

Atendendo o limite especificado, o material retido deve ser pesado e o índice de finura é calculado a partir da Equação 1 a seguir:

$$I_f = \frac{r \times F_c}{m} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$I_f$ : é o índice de finura do cimento, expresso em porcentagem (%);

$r$ : é o resíduo do cimento na peneira 75  $\mu m$ , expresso em gramas (g);

$m$ : é a massa inicial do cimento, expressa em gramas (g);

$F_c$ : é o fator de correção da peneira utilizada no ensaio, determinado de acordo com o disposto na ABNT NBR NM ISO 3310-1 (adotar 1).

Para a realização do ensaio de tempo de início e fim de pega foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Aparelho de Vicat;
- Balança com resolução de 0,01g;
- Cronômetro;
- Espátula metálica;
- Molde tronco-cônico;
- Misturador mecânico.

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR NM 65 - 2002 - Cimento portland - Determinação do tempo de pega. A pasta foi confeccionada utilizando a água, cuja quantidade foi determinada no ensaio de consistência normal, e 500g de cimento. A mistura foi colocada na argamassadeira seguindo todas as recomendações da referida norma.

Após o término da mistura a pasta foi colocada no molde tronco-cônico e descansou por 30 minutos, ao fim desse tempo o conjunto foi colocado no aparelho de Vicat, onde foram realizadas as penetrações da agulha de início de pega seguindo as recomendações normativas. O início de pega é determinado, quando os valores de penetração estiverem entre  $4 \pm 1$  mm distante do fundo da placa.

O tempo decorrido desde o contato da água com o cimento até os valores do intervalo acima é chamado início de pega, após esse processo troca-se a agulha de Vicat para determinação de início de pega pela agulha de fim de pega. O molde cheio é invertido e as penetrações foram medidas em intervalos de 15 minutos, até que a penetração da agulha fosse menor ou igual a 0,5 mm. O tempo decorrido desde o contato da água com o cimento até as medições atingirem esse intervalo é denominado fim de pega, a seguir são ilustrados na Figura 10, penetrações antes e após o início de pega, em que o molde se encontrava invertido.

**Figura 10** – Ensaio de pega: (a) momento da determinação do início de pega; (b) penetrações após o início de pega com o molde já invertido.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

Para a realização do ensaio de expansibilidade a frio foram utilizados os seguintes equipamentos.

- Espátula fina;
- Placas de vidro, quadradas, de 5 cm de lado;
- Régua milimetrada com divisão de 0,5 mm;
- Óleo mineral.

Os corpos de prova são moldados em um cilindro em cima de uma placa de vidro lubrificada com o óleo mineral, com o auxílio de uma espátula fina, após o término rasou-se e a outra placa foi colocada em cima com um peso para que o cilindro não gire devido o peso da haste.

Foram moldados três corpos de prova, e colocados no tanque durante sete dias, contemplando a cura a frio, de modo que as hastes das agulhas de Le Chatelier ficassem para fora do tanque, o afastamento das agulhas é medido na moldagem do corpo de prova e após os sete dias imerso na água e a expansibilidade a frio é dada pela diferença entre a medida final e a inicial.

#### 4.3.1.2 Agregado Miúdo

Para a caracterização da areia natural, foram realizados o ensaio de distribuição granulométrica, massa específica, massa unitária e volume de vazios. Para a vermiculita expandida foram realizados os ensaios de distribuição granulométrica, massa unitária e volume de vazios, pois é inviável a determinação da massa específica pelo frasco de Chapman, devido sua baixa densidade. Antes da realização dos ensaios os agregados passaram pelo processo de secagem em estufa por 24 horas.

O ensaio de distribuição granulométrica é realizado com o intuito de separar os grãos de acordo com o tamanho, realizado através dos parâmetros disponíveis na NBR NM 248 – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003). A seguir os materiais utilizados na execução do ensaio:

- Balança com resolução de 0,01g;
- Bandejas;
- Conjunto de peneiras, tampa e fundo;
- Estufa;
- Pincel.

A série de peneiras normais foi encaixada junto com o fundo, em ordem crescente do fundo ao topo como mostra a Figura 11. Foram pesadas duas amostras de 300g de areia e adicionadas na peneira de abertura nominal de 4,75 mm, de forma espalhada para que todos os grãos fossem submetidos às malhas das peneiras. O conjunto de peneiras foi agitado de forma mecânica até que houvesse uma separação definida dos grãos de areia, após esse procedimento as peneiras são destacadas uma a uma e peneiradas junto com o fundo por cerca de um minuto. Por ultimo é determinada a massa do material que passou e o material que ficou retido em cada peneira com aproximação de 0,1%, as amostras devem apresentar a mesma dimensão máxima característica, e os valores de porcentagem retida nas peneiras não podem diferir em 4%.

**Figura 11** – Série de peneiras normais.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

O ensaio de determinação de massa específica foi realizado com base na NBR 9776 – Determinação de massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman (ABNT, 1987), a execução e os materiais do ensaio são descritos a seguir:

- Balança com resolução de 0,01g;
- Frasco Chapman;
- Funil.

Inicialmente foi adicionado 200  $cm^3$  de água no frasco de Chapman deixando-o em repouso para que água aderida nas faces internas descesse, em seguida foi adicionado 500g de areia natural de forma lenta, sendo realizados movimentos no frasco para que o ar pudesse ser eliminado, evitando erros nas medições, até que tudo fique misturado de acordo com a Figura 12.

**Figura 12** – Ensaio de massa específica pelo frasco de Chapman



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

A seguir mede-se o volume total ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo e a determinação da massa específica é dada pela Equação 2.

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad (2)$$

Onde:

$\gamma$ : massa específica do agregado em gramas por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>);

$L$ : Leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

O ensaio de massa unitária foi realizado com base na NBR NM 45 – Determinação da massa unitária e do volume dos vazios (ABNT, 2006). Os equipamentos necessários a realização dos ensaios estão elencados, a seguir.

- Balança com resolução de 0,01g;
- Pá para lançamento;
- Recipiente de volume 610 cm<sup>3</sup>;
- Régua metálica.

Nesse ensaio foi empregado o “método C” da norma supracitada, em virtude das semelhanças do agregado com o que é descrito em norma. Primeiro o recipiente foi pesado seco, depois aferido com água para

determinação do volume real. Em seguida foram realizadas 4 (quatro) pesagens com areia natural e mais quatro com vermiculita expandida, conforme ilustra a Figura 16.

**Figura 13** – Ensaio de massa unitária.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

A partir das medições foi realizada uma média dos valores em massa, e determinado a massa específica através da Equação 3.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Onde:

$\rho$ : é a massa unitária, expresso em gramas por centímetros cúbicos (g/cm<sup>3</sup>);

$m$ : é a média da massa do agregado, expresso em gramas (g);

$v$ : é o volume real do recipiente, expresso em centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>).

#### **4.3.2 Ensaio para caracterização das argamassas**

##### **4.3.2.1 Estado fresco**

Na caracterização da argamassa no estado fresco, foram realizados os ensaios de consistência para a determinação da relação água/aglomerante e o ensaio de densidade. Para o ensaio de consistência, o procedimento do ensaio seguiu o padrão da NBR 13276 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto – Preparo da mistura e determinação do índice



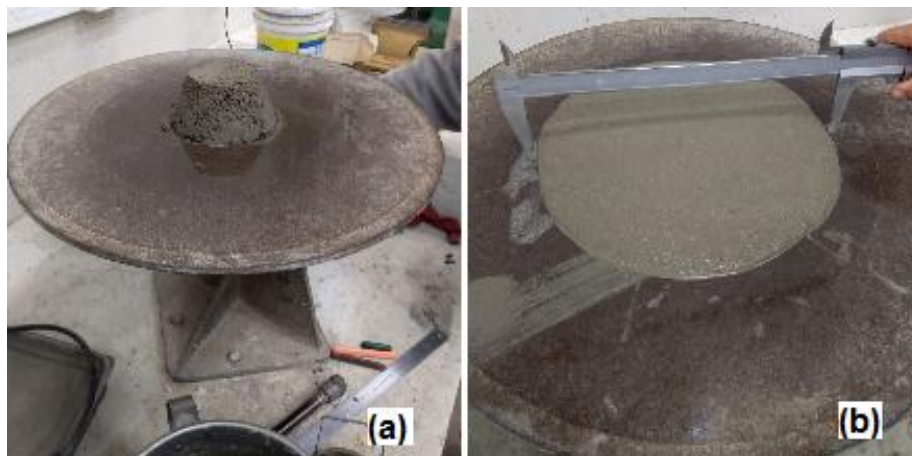
de consistência, (ABNT, 2002), a seguir são descritos os materiais e procedimentos para a realização do ensaio.

- Balança com resolução de 0,1 g;
- Colher de pedreiro;
- Mesa para índice de consistência, conforme a NBR 7215;
- Molde tronco cônico, conforme a NBR 7215;
- Misturador mecânico, conforme NBR 7215;
- Régua para medições até 300 mm, com resolução de pelo menos 1 mm;
- Soquete metálico, conforme NBR 7215.

Para a confecção das argamassas fez necessário a maturação da cal hidratada e, em razão disso, 24h antes da produção do traço experimental, foi realizada a preparação de uma argamassa de cal hidratada. O preparo consistiu em colocar no misturador a areia natural, a cal hidratada, a água, e ainda a vermiculita expandida (nos traços que possuíam), em suas proporções preestabelecidas, e misturando por 4 (quatro) minutos em baixa rotação. Após o preparo pesava-se a mistura a fim de determinar a água que seria perdida, passadas 24 horas a argamassa de cal hidratada era pesada novamente, todavia a diferença de peso foi irrisória, pouco menos de 1 (uma) grama, por isso a água que se perdeu não foi compensada. No dia seguinte era adicionado à argamassa de cal, o cimento e realizada a mistura por mais 4 (quatro) minutos em baixa rotação.

Com a argamassa pronta, o molde tronco-cônico foi preenchido em três camadas sucessivas e, adensados com 15, 10 e 5 golpes respectivamente. Após isso, o molde era removido e então era acionada a manivela da mesa de consistência onde foram aplicados 30 “quedas” numa média de 30 segundos. Por ultimo foram medidos três diâmetros e feito uma média de acordo com a Figura 14, caso a média ultrapasse ou não chegasse ao valor de espalhamento pré-determinado, o procedimento era repetido.

**Figura 14** – Abatimento da argamassa: (a) retirada do molde tronco-cônico; (b) medição do espalhamento da argamassa.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

Para se determinar a densidade da argamassa no estado fresco foi realizado uma relação de massa e volume, os materiais utilizados e os métodos estão descritos a seguir:

- Balança com resolução de 0,1 g;
- Colher de pedreiro;
- Recipiente de 610  $cm^3$ ;
- Régua metálica;
- Soquete metálico.

O ensaio de densidade é normatizado pela NBR 13278 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento – Densidade (ABNT, 1995). A confecção das argamassas seguiu os mesmos procedimentos citados anteriormente no ensaio de índice de consistência. O recipiente foi pesado e enchido com água para aferição de seu volume. Em seguida o recipiente foi preenchido com a argamassa e adensado de acordo com o descrito no preparo do molde tronco-cônico. A Figura 15 mostra as pesagens realizadas.

**Figura 15** – Ensaio de densidade no estado fresco: (a) aferição do recipiente com água; (b) recipiente preenchido com argamassa.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

O ensaio foi repetido três vezes para cada traço, e os resultados através da média dos valores, aplicado na Equação 4.

$$A = \frac{Mc - Mv}{Vr} \quad (4)$$

Onde:

$A$ : é a densidade, expresso em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³);

$Mc$ : a massa do recipiente, contendo a argamassa, expressa em gramas (g);

$Mv$ : a massa do recipiente vazio, expresso em gramas (g);

$Vr$ : é o volume real do recipiente, expresso em centímetros cúbicos (cm³).

#### 4.3.2.2 Estado endurecido

No estado endurecido os ensaios foram realizados através dos corpos de prova, que foram moldados no modelo prismático em conformidade com a NBR 13279 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto – Determinação da resistência à tração na flexão e compressão (ABNT, 2005).

Foram preparados quatro traços de argamassa, um sem adição de vermiculita expandida e os outros três com adição de 25%, 50% e 75% em

substituição parcial ao volume da areia usado no traço referência. Para cada traço foram moldados nove corpos de prova para realização dos ensaios. Imediatamente após o preparo da argamassa realizou-se a aplicação de uma fina camada de óleo desmoldante, em seguida foi adicionado à argamassa em duas camadas, sendo adensada por 30 quedas na própria bancada, tendo o cuidado para a argamassa se acomodar dentro do molde, como mostra a Figura 16.

**Figura 16** – Moldagem dos corpos de prova.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

O ensaio de absorção por capilaridade e coeficiente de capilaridade foi realizado com base na NBR 15259 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade (ABNT, 2005). A seguir serão dispostos os materiais e a metodologia do ensaio.

- Balança com resolução de 0,01g;
- Cronômetro;
- Peneira de malha com abertura nominal de 75 mm;
- Maseira de PVC com volume de 20L.

Os corpos de prova prismáticos, aos 28 dias de idade, tiveram uma de suas faces quadradas lixadas com uma lixa grossa e depois disso foram pesados e, em seguida, foram levados para um recipiente de forma que suas

faces ficassem em contato com uma lâmina de água de  $5 \pm 1 \text{ mm}$ , conforme apresentado na Figura 17.

**Figura 17** – Ensaio de absorção por capilaridade.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

Foram efetuadas as pesagens de cada corpo de prova aos 10 e aos 90 minutos e os resultados de absorção de água são apresentados pela Equação 5.

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (5)$$

Onde:

$A_t$ : é a absorção de água por capilaridade para cada tempo, dado em  $\text{g/cm}^2$ ;

$m_t$ : é a massa do corpo de prova em cada tempo, dado em g;

$m_0$ : é a massa inicial do corpo de prova, dado em g;

16: é a área da face do corpo de prova em contato com a água, dado em  $\text{cm}^2$ .

Os resultados do coeficiente de capilaridade é dado pela Equação 6.

$$C = m_{90} - m_0 \quad (6)$$

Onde:

C: é o coeficiente de capilaridade, dado em  $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ .

O ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido é realizado com base na NBR 13280 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido (ABNT, 2005).

Para a realização desse ensaio foram preparados três corpos de prova prismáticos usando os procedimentos citados anteriormente e, aos 28 dias de idade, com auxílio de um paquímetro são medidas as faces do corpo de prova para determinação do volume real, após esse procedimento é realizado a pesagem e a média entre os corpos de prova, a densidade de massa aparente é determinada pela relação massa/volume, assim como no estado fresco.

O ensaio de tração na flexão foi realizado de acordo com o que mostra a NBR 13279 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto – Determinação da resistência à tração na flexão e compressão (ABNT, 2005).

Para a realização desse ensaio foram preparados três corpos de prova prismáticos usando os procedimentos citados anteriormente e, aos 28 dias de idade, os mesmos são posicionados no equipamento de ensaio, apoiados e submetidos a um carregamento para determinação da resistência de tração na flexão.

Em seguida o carregamento é aplicado a uma velocidade de  $50 \pm 10$  N/s no corpo de prova e mantido constante até o momento de ruptura da amostra, os resultados são obtidos através da Equação 7.

$$Rf = \frac{1,5 \times F_f \times L}{40^3} \quad (7)$$

Onde:

*Rf*: é a resistência à tração na flexão, dado em MPa;

*Ff*: é a carga aplicada verticalmente no centro do corpo de prova, dada em N;

*L*: é a distância entre os apoios, dado em mm.

Após a realização do ensaio de resistência a tração na flexão, as metades dos corpos de prova são utilizadas para o ensaio de compressão, onde são submetidas a carregamentos, a uma velocidade de  $500 \pm 10$  N/s até a ruptura como apresentado na Figura 18.

**Figura 18** – Ensaios mecânicos: (a) tração na flexão; (b) compressão.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

Os resultados da ruptura são aplicados na Equação 8.

$$R_C = \frac{F_C}{1600} \quad (8)$$

Onde:

$R_C$ : é a resistência à compressão, expresso em MPa;

$F_C$ : é a carga máxima aplicada, expressa em N.

#### 4.3.2.3 Ensaio térmico

Para o ensaio de desempenho térmico foi utilizado um protótipo desenvolvido no laboratório de Materiais de Construção da UFERSA Campus Angicos, que consiste em uma caixa de madeirite plastificado com dimensões internas de 76 cm de comprimento, 56 cm de largura e 48 cm de profundidade, uma parede interna de isopor que mede 16 cm e que separava os dois ambientes da caixa (denominados interno e externo), o espaço para colocação da placa de argamassa a ser analisada, três lâmpadas incandescentes de 250 W cada e quatro termopares ligados a um computador como ilustrado na Figura 19.

**Figura 19** – Ensaio térmico com o protótipo.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

A placa de argamassa moldada para cada mistura é instalada cerca de 30 cm das lâmpadas, que funcionam como uma fonte de calor. Os termopares são instalados diretamente na placa, dois em cada superfície (interna e externa), em seguida o software é iniciado e as luzes são acesas iniciando o processo de medições da variação da temperatura. A variação de temperatura é analisada durante 120 minutos.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos através dos ensaios realizados para a fundamentação deste trabalho.

#### 5.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado na confecção das argamassas estudadas foi submetido a ensaios para averiguação do atendimento aos requisitos especificados em norma, o resultado do índice de finura é apresentado a seguir na Tabela 14.

**Tabela 14** – Índice de finura do cimento

| Ensaio de finura NBR 5733          |                      |                                        |
|------------------------------------|----------------------|----------------------------------------|
| <b>Ensaio mecânico</b>             | Índice de finura (%) | Limites CP V - ARI                     |
| <b>Amostra inicial (g) 50</b>      | 1,43                 | 6%                                     |
| <b>Resíduo na peneira #200 (g)</b> |                      |                                        |
| 0,715                              |                      |                                        |
| Tempo de pega do cimento           |                      |                                        |
| <b>Ensaaios</b>                    |                      | Limites NBR 5733/1991; NBR 11582/1991. |
| <b>Início de pega (minutos)</b>    | 85                   | ≥ 60 min                               |
| <b>Fim de pega (minutos)</b>       | 125                  | ≤ 600 min                              |
| <b>Expansibilidade a frio</b>      | 0,5 mm               | ≤ 5 mm                                 |

**Fonte:** Autoria própria, (2018).

Para o Cimento Portland CP V ARI - RS foram utilizados os limites disponíveis na NBR 5733 (ABNT, 1991) que, como pode ser observado, o cimento utilizado está em um padrão aceitável, pois apresenta um índice de finura de 1,43% se encontrando abaixo do limite especificado.

A finura do cimento possui uma grande importância, estando diretamente ligada com o tamanho dos seus grãos, já que um cimento que possui um maior teor de finos possui também uma maior velocidade de hidratação, fazendo com que haja um ganho na resistência mecânica, dessa forma quanto menor o índice de finura maior a quantidade de grãos finos contidos no cimento.

Com relação aos tempos de pega, os dados expressados na Tabela 14 mostram que o cimento também atingiu os valores especificados pelas suas respectivas normas.

O ensaio de expansibilidade tem uma importância especial na prevenção do aparecimento de fissuras em argamassas cimentícias causadas por retração térmica oriunda do calor de hidratação da pasta de cimento. O resultado da expansibilidade a frio está também dentro dos limites especificados.

### 5.1.2 Caracterização do agregado miúdo

A seguir, serão abordados os resultados da caracterização da areia natural e do agregado leve, vermiculita expandida. A composição granulométrica, diâmetro máximo, módulo de finura, faixa de graduação, massa específica e unitária, foram às características observadas nesta pesquisa.

#### 5.1.2.1 Características físicas da areia natural

A análise granulométrica é uma forma de caracterização de grande importância, através deste parâmetro pode-se definir o agregado quanto ao tamanho dos grãos, se é utilizável ou não, e ainda determinar o módulo de finura e o coeficiente de uniformidade, a Tabela 15 mostra os resultados do ensaio de granulometria.

**Tabela 15** – Caracterização granulométrica e física da areia natural.

| DIÂMETRO DA PENEIRA (mm)        | MATERIAL RETIDO (g) | PORCENTAGEM (%) |           |          |
|---------------------------------|---------------------|-----------------|-----------|----------|
|                                 |                     | Retida          | Acumulada | Passante |
| 4,75                            | 0                   | 0               | 0         | 100      |
| 2,36                            | 0,66                | 0,13            | 0,13      | 99,87    |
| 1,18                            | 35,41               | 7,08            | 7,21      | 92,79    |
| 0,6                             | 179,49              | 35,90           | 43,11     | 56,89    |
| 0,3                             | 244,19              | 48,84           | 91,95     | 8,05     |
| 0,15                            | 39,24               | 7,85            | 99,80     | 0,20     |
| < 0,15 (fundo)                  | 1,02                | 0,20            | 100       | 0        |
| Total                           | 500                 | 100             | -         |          |
| Diâmetro máximo (mm)            |                     |                 | 2,36      |          |
| Módulo de Finura                |                     |                 | 2,42      |          |
| Massa unitária                  |                     |                 | 1,46      |          |
| Massa específica                |                     |                 | 2,67      |          |
| Coeficiente de não uniformidade |                     |                 | 1,75      |          |

Fonte: Autoria própria, (2018).

Segundo a NBR NM 248/2003 e NBR 7211/2009, e de acordo com os valores obtidos na Tabela 15, a areia analisada é caracterizada como agregado miúdo de granulometria média, apresentando o módulo de finura na zona

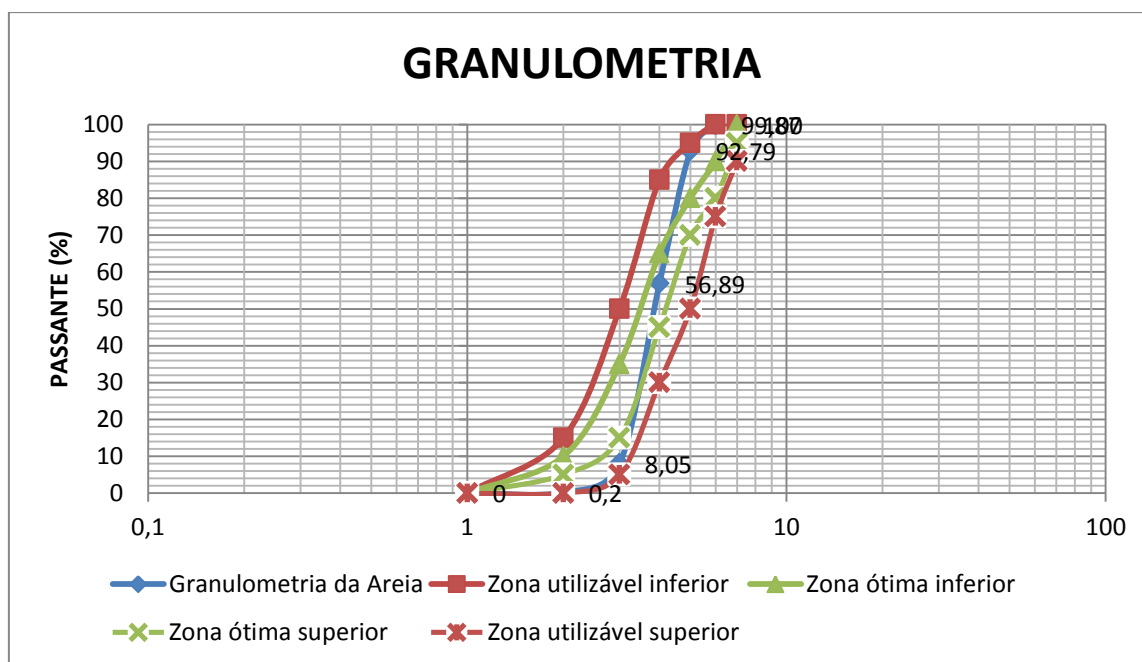
ótima. Todavia a areia foi adquirida como areia grossa, o que não se confirmou pela sua granulometria.

Ainda observando os valores da Tabela 15 e segundo a NBR 12655/2015, a areia é classificada como agregado normal, uma vez que sua massa específica se situa entre (2,00 e 3,00 g/cm<sup>3</sup>).

Levando em consideração o valor do coeficiente de não uniformidade, a areia em análise é considerada com uma areia muito uniforme, pois segundo Pinto (2006) valores inferiores a 5 a classifica como muito uniforme ( $C_u < 5$ ), entre 5 e 15, a areia é considerada de uniformidade média ( $5 < C_u < 15$ ) e superiores a 15, como pouco uniforme.

A má graduação da areia pode ser confirmada pela grande inclinação da curva granulométrica, ilustrada na Figura 20.

**Figura 20** – Curva granulométrica da areia natural.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

Analisando a curva granulométrica da areia, bem como as zonas utilizáveis e ótimas, conclui-se que o agregado natural ensaiado, por se encontrar dentro das zonas ótimas e utilizáveis estabelecidas pela NBR 7211, encontra-se apto a ser utilizado na produção de argamassas. Porém, analisando a inclinação da curva, observa-se uma elevada inclinação, confirmando a sua uniformidade já verificada no cálculo do coeficiente.

Uma areia uniforme tende a conferir baixa resistência as argamassas, uma vez que os grãos de mesmo tamanho não se encaixarão nos vazios existentes entre eles.

#### 5.1.2.2 Características físicas da vermiculita expandida

A vermiculita expandida, assim como a areia natural, passou pelo ensaio de granulometria no qual se determinou as suas características, a seguir a Tabela 18 apresenta os resultados.

**Tabela 16** – Resultados dos ensaios de caracterização granulométrica e física da vermiculita expandida.

| DIÂMETRO DA PENEIRA (mm)        | MATERIAL RETIDO (g) | PORCENTAGEM (%) |           |          |
|---------------------------------|---------------------|-----------------|-----------|----------|
|                                 |                     | Retida          | Acumulada | Passante |
| 4,75                            | 0                   | 0               | 0         | 100      |
| 2,36                            | 0,4                 | 0,08            | 0,08      | 99,92    |
| 1,18                            | 249,31              | 49,86           | 49,94     | 50,06    |
| 0,6                             | 200,70              | 40,10           | 90,04     | 9,96     |
| 0,3                             | 28,29               | 5,66            | 95,70     | 4,30     |
| 0,15                            | 10,57               | 2,11            | 97,81     | 2,19     |
| < 0,15 (fundo)                  | 11,03               | 2,20            | 100       | 0        |
| Total                           | 500                 | 100             | -         |          |
| Diâmetro máximo (mm)            |                     |                 | 2,36      |          |
| Módulo de Finura                |                     |                 | 3,33      |          |
| Massa unitária                  |                     |                 | 0,16      |          |
| Massa específica                |                     |                 | -----     |          |
| Coeficiente de não uniformidade |                     |                 | 2,33      |          |

Fonte: Autoria própria, (2018).

A vermiculita expandida possui a maior parte de seus grãos (mais de 90%) acima do diâmetro de 0,6 mm, podendo ser classificada no padrão brasileiro como superfina (70-95% > 0,6 mm), de acordo com a classificação apresentada por Reis (2002). Todavia a mesma não está em conformidade com as características de comercialização, já que foi apresentada com classificação fina.

Não foi possível realizar o ensaio do frasco de Chapman para determinar a massa específica da vermiculita expandida, já que sua densidade é menor do que a da água e o material flutuava no frasco, todavia a literatura adota valores entre 0,56 – 1,4 (g/cm<sup>3</sup>), sendo assim considerada com agregado leve pela classificação da NBR 12655 (ABNT, 2015). Pode-se ainda observar sua massa unitária, extremamente reduzida, o que confirma sua alta leveza.

O coeficiente de não uniformidade, assim como o da areia natural, foi considerado muito uniforme ( $C_u < 5$ ), ou seja, a vermiculita também é mal graduada, porém é um agregado miúdo com módulo de finura superior a 3,0, o que configura um agregado miúdo grosso.

Ao analisar as características da vermiculita expandida, verifica-se que apesar de ser considerada, assim como a areia, muito uniforme, uma mistura entre esses agregados pode proporcionar um refino da estrutura de poros, pois os vazios entre os grãos mais grossos da vermiculita, podem ser preenchidos pelos grãos médios da areia natural.

## 5.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

A seguir serão apresentadas as propriedades das argamassas produzidas a partir dos quatro traços em estudo, bem como serão discutidas as influências das porcentagens de adição do agregado leve.

### 5.2.1 Estado fresco

#### 5.2.1.1 Consistência da argamassa

Para o ensaio de consistência fixou-se um espalhamento de  $270 \pm 5$  mm, para a obtenção de uma argamassa mais trabalhável, os valores de espalhamento e a relação água/aglomerante estão dispostos na Tabela 17.

**Tabela 17** – Espalhamento e relação água/aglomerante para cada traço.

| TRAÇO | RELAÇÃO ÁGUA/AGLOMERANTE | ESPALHAMENTO |
|-------|--------------------------|--------------|
| REF   | 1,40                     | 267 mm       |
| VE25  | 1,45                     | 265 mm       |
| VE50  | 1,65                     | 273 mm       |
| VE75  | 2,05                     | 271 mm       |

**Fonte:** Autoria própria, (2018).

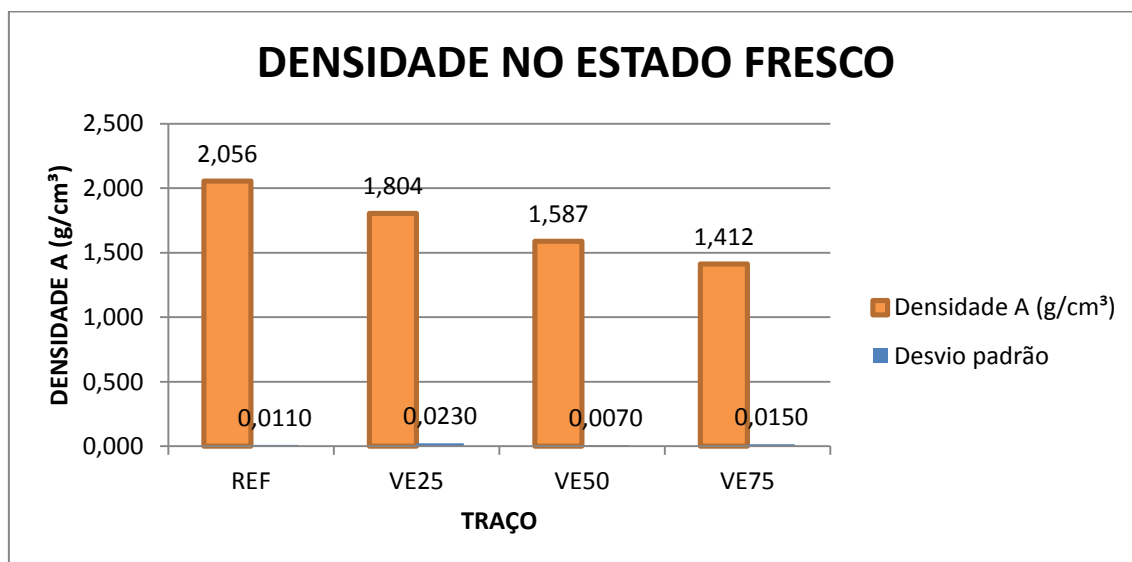
Ao analisar a Tabela 17, é notório que a quantidade de água requerida, para manutenção de uma mesma consistência, aumenta à medida que a proporção de vermiculita expandida também aumenta no traço. Este fato está relacionado a sua estrutura interna altamente porosa, repleta de vazios entre as lamelas da vermiculita, que absorve parte da água de amassamento usada no preparo da argamassa.

Uma vez que uma boa trabalhabilidade é fundamental para a aplicação da argamassa em suas múltiplas finalidades, fez necessário o acréscimo de água para manutenção de uma consistência adequada a aplicação em revestimentos, porém esse aumento acarreta numa maior porosidade e menor resistência.

#### 5.2.1.2 Densidade de massa no estado fresco

Após o processo de confecção das argamassas a densidade no estado fresco foi realizada conforme mencionado na metodologia. A Figura 21 traz os resultados obtidos para os diferentes traços em análise.

**Figura 21** – Densidade no estado fresco para cada traço.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

Como observado na Figura 21, a redução da massa específica real, à medida que se substituiu a areia natural por vermiculita, é visível, pois do traço de referência para o traço com a adição 75% de vermiculita expandida, houve uma redução de aproximadamente 32%, valores que se aproximam dos que foram encontrados na pesquisa de Barros (2018).

A redução da densidade do traço de referência para o traço de adição de 25% é de aproximadamente 12,26%, em seguida a cada adição de 25% de vermiculita expandida há uma redução em torno de 10%.

Apesar da redução da massa específica das argamassas, os traços REF, VE25 e VE50 não se enquadram dentro da classificação de argamassa

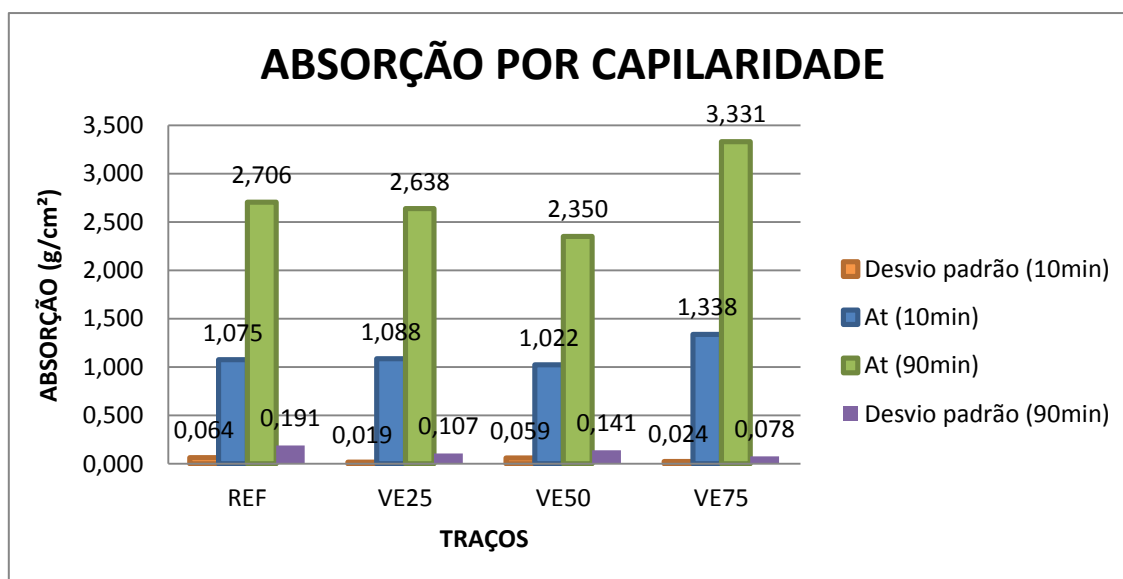
leve, pois segundo Carasek (2010) as argamassas leves são aquelas que apresentam massa específica inferior a  $1,40 \text{ g/cm}^3$ . Apenas o traço com adição de 75% de vermiculita expandida é classificado como argamassa leve, usando o valor do desvio padrão.

## 5.2.2 Estado endurecido

### 5.2.2.1 Absorção por capilaridade

Os valores de absorção por capilaridade são apresentados na Figura 22.

**Figura 22** – Absorção por capilaridade  $A_{t10}$  e  $A_{t90}$ .



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

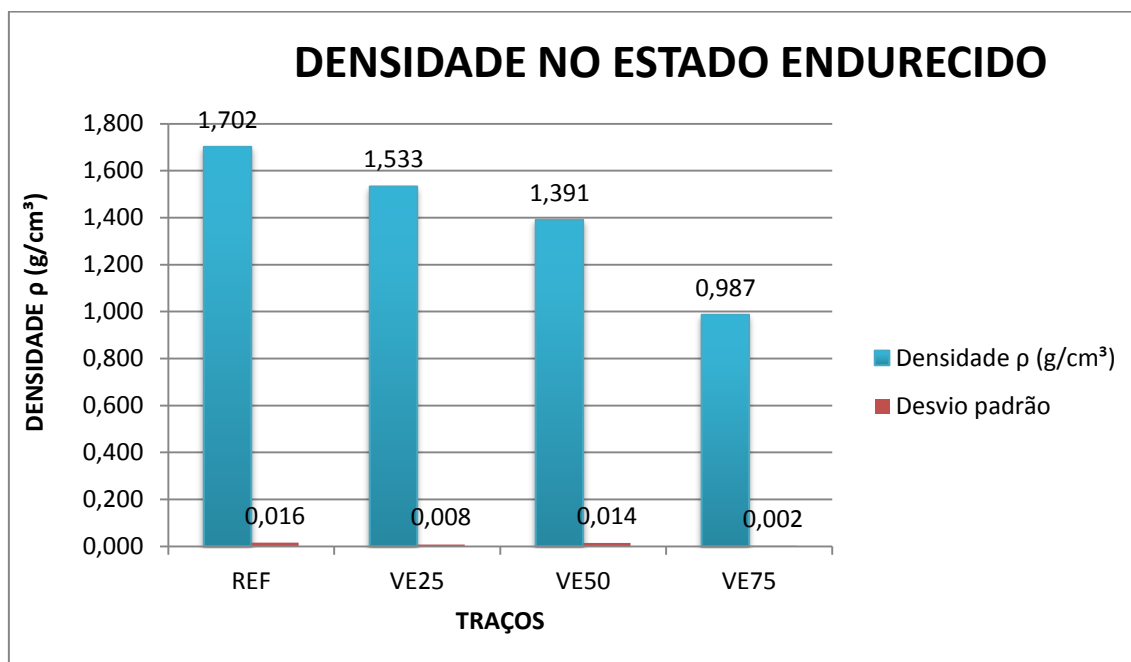
Há uma tendência de que com o aumento do teor de vermiculita expandida haja um aumento na absorção por capilaridade, todavia os resultados do ensaio mostram que houve uma leve redução na absorção que praticamente iguala os resultados dentro do desvio padrão, isso se dá devido à suposição que há uma substituição ideal entre os agregados, tal proporção ideal estaria no horizonte a partir de 50% de substituição segundo os dados apresentados, na substituição de 75% a absorção de água aumenta como esperado.

Barros (2018) também propôs que há essa substituição ideal, todavia em seu estudo concluiu que, para os agregados utilizados, fica em torno de 25% de substituição de vermiculita expandida.

### 5.2.2.2 Densidade de massa aparente no estado endurecido

A densidade no estado endurecido é dada pela relação massa/volume dos corpos de prova prismáticos, para cada composição de argamassa. O ensaio foi realizado aos 28 dias de idade, e os resultados são mostrados a seguir na Figura 23.

**Figura 23** – Densidade de massa aparente no estado endurecido.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

Assim como apresentado no ensaio de densidade no estado fresco, há uma grande redução para cada adição de 25% de vermiculita expandida no traço, para os traços com substituição de 25, 50 e 75% a densidade diminuiu 10,52%, 19,19% e 42,67% respectivamente em relação ao traço de referência.

Esses valores são aproximados ao da pesquisa de Barros (2018), já que os valores para cada incremento de 25% de vermiculita expandida resultaram em uma diminuição de 7,6%, 25% e 46% respectivamente, dessa forma a pesquisa propõe que o uso desse tipo de argamassa passa ser interessante, tendo em vista que o revestimento será mais leve, o que acarretará em uma diminuição das cargas levadas as fundações.

As pesquisas realizadas por Soares & Marmore (2016) e Cintra (2013), também constaram uma redução da densidade no estado endurecido com a incorporação de vermiculita expandida.

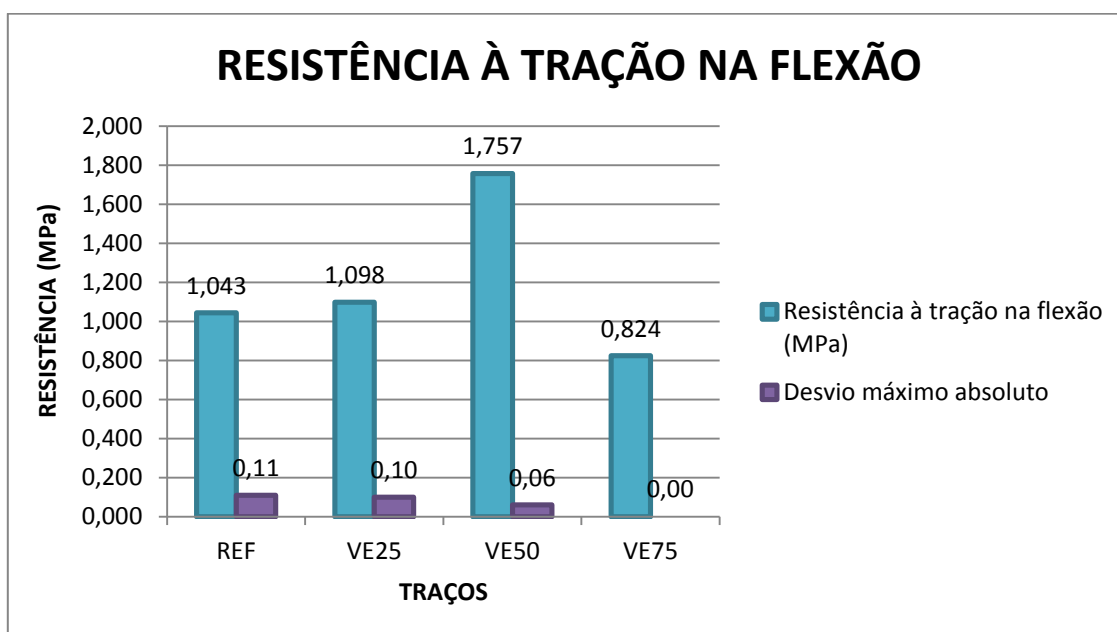


Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) as argamassas de referência e 25% são classificadas de acordo com a Tabela 2 – Densidade de massa aparente, disposta na página 3, como da Classe M4 ( $1,40 < \rho \text{ (g/cm}^3) \leq 1,80$ ), já o traço de 50% é classificado como Classe M3 ( $1,20 < \rho \text{ (g/cm}^3) \leq 1,40$ ) para o traço de 75% a classificação é dada como Classe M1 ( $\rho \leq 1,20 \text{ g/cm}^3$ ).

### 5.2.2.3 Resistência à tração na flexão

Os ensaios de resistência à tração na flexão foram realizados aos 28 dias de idade dos corpos de prova, os relatórios ao final dos ensaios estão disponíveis no Anexo A, os dados dos ensaios são expressos a seguir na Figura 24.

**Figura 24** – Resistência à tração na flexão.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

Os valores obtidos no ensaio mostram um crescimento da resistência à tração para os traços de 25% e 50%, um aumento de 5,27% e 68,47% respectivamente em relação ao traço de referência. Este incremento de resistência pode ser compreendido quando se considera que há uma proporção ideal entre os agregados e, como a areia natural usada apresentou um módulo de finura menor que a vermiculita, os seus grãos menores preencheram parcialmente os espaços entre os grãos maiores da vermiculita expandida, além disso, a adição de cal hidratada contribuiu para um maior

volume de pasta produzida reforçando o envolvimento destes grãos, diminuindo a fragilidade da argamassa.

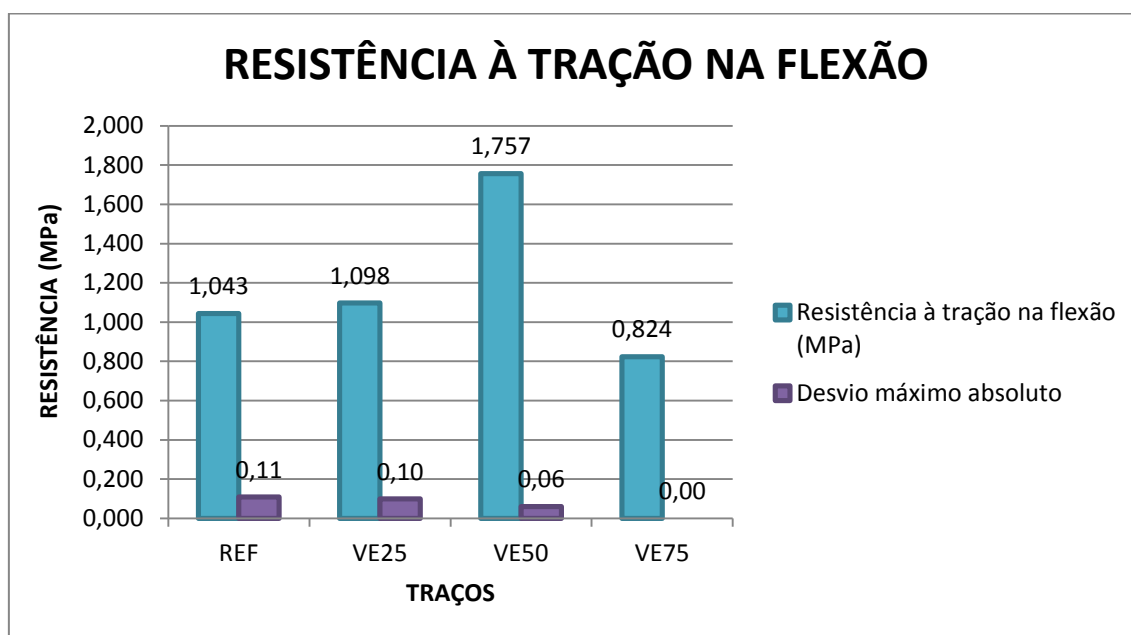
Já para o traço de substituição de 75%, há um decréscimo de resistência da ordem de 21% em relação ao de referência. Neste caso, o maior volume de vermiculita usada, em relação a areia natural, transferiu mais efetivamente o efeito do baixo módulo de elasticidade encontrado nos agregados leves, bem como a influência de sua capacidade de absorção, que provocou um incremento significativo de água para a manutenção do espalhamento requerido. Essa água em excesso, ao evaporar, provocou retração da pasta, que não pode ser controlada pelo agregado de baixo módulo de elasticidade, deixando vazios e microfissuras, influenciando de maneira significativa na resistência desenvolvida.

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) as argamassas de referência, 25% e 75% são classificadas de acordo com a resistência à tração na flexão pela Tabela 3 – Resistência à tração na flexão, situada na página 3, para todos os traços ensaiados são considerados como Classe R1 ( $\leq 1,5$  MPa), já a argamassa de 50% é da Classe R2 ( $1,0 < R$ , MPa  $< 2,0$ ).

#### *5.2.2.4 Resistência à compressão*

Após o ensaio de resistência à tração na flexão, o número de corpos de prova dobra para a realização do ensaio de resistência à compressão, que foi realizado aos 28 dias de idade da argamassa, os relatórios deste ensaio são disponibilizados no Anexo B.

A Figura 25 mostra os valores de resistência obtidos.

**Figura 25** – Resistência à compressão.

**Fonte:** Autoria própria, (2018).

Assim como no ensaio de resistência à tração na flexão os traços apresentam o mesmo comportamento, a argamassa com 25% e 50% obtiveram um ganho de resistência à compressão de 2,18% e 39,81% respectivamente e, a argamassa com 75% um decréscimo de 20,08% em relação ao traço de referência.

Este incremento de resistência à medida que se aumentou a quantidade de substituição da areia por vermiculita, bem como seu decréscimo a partir do traço VE75 pode estar relacionado com os mesmos fatores já relacionados para a resistência à tração.

Pode-se ainda incluir como outro fator colaborador no ganho de resistência, a capacidade de absorção de água da vermiculita, que neste caso promove uma redução na espessura da zona de transição, em razão da baixa relação água/aglomerante na superfície externa do agregado leve, contribuindo para o reforço de sua capacidade portante.

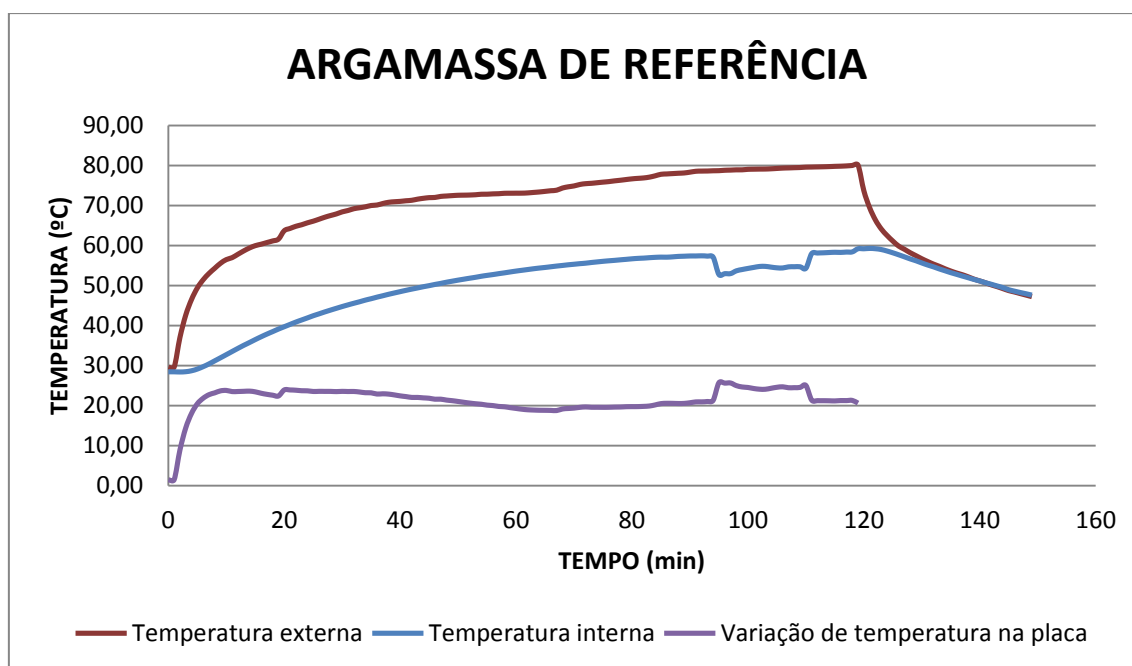
Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) as argamassas de referência, 25% e 75% são classificadas de acordo com a resistência à compressão pela Tabela 1 – Resistência à compressão, da página 3, para todos os traços

ensaiados são considerados como Classe P2 ( $1,5 < R, \text{MPa} < 3,0$ ), já a argamassa de 50% é da Classe P3 ( $2,5 < R, \text{MPa} < 4,5$ ).

#### 5.2.2.5 Ensaio térmico

A Figura 26 traz os resultados obtidos com a argamassa referência.

**Figura 26** – Ensaio térmico da argamassa de referência.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

A argamassa atinge uma temperatura média na face exposta à fonte calor de  $80,08^{\circ}\text{C}$  e uma temperatura média na face interna de aproximadamente  $59,01^{\circ}\text{C}$ . Ao observamos a Figura 26 percebe-se que logo aos 10 minutos de ensaio a variação de temperatura das faces da placa cimentícia fica praticamente constante ao longo do ensaio.

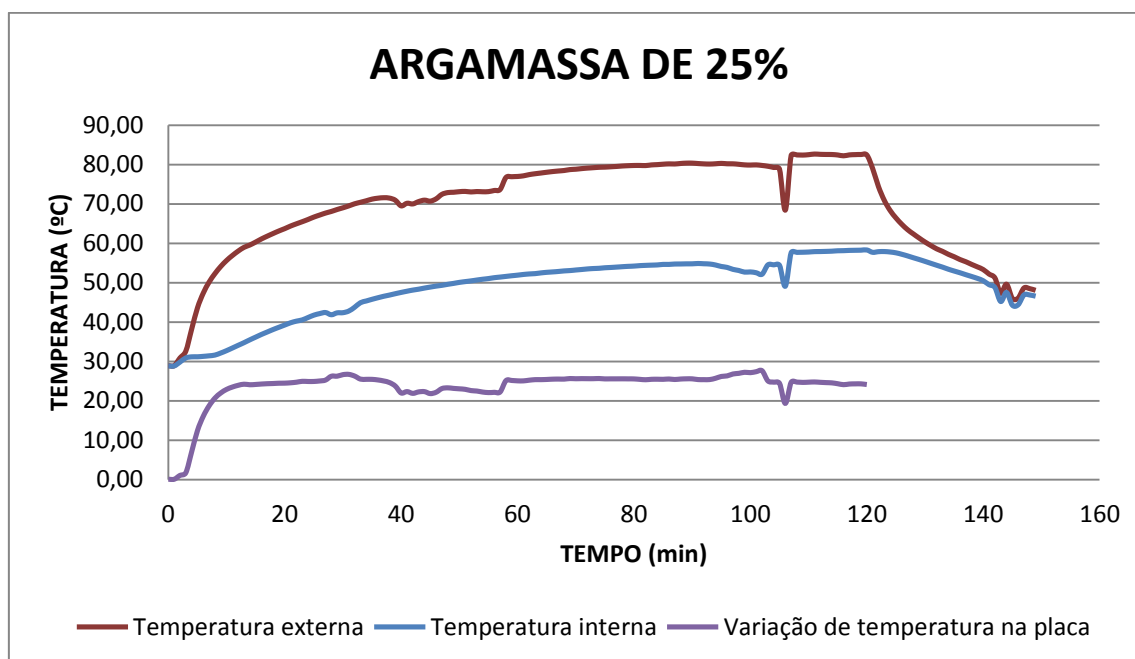
Aos 60 e 90 minutos de ensaio a diferença de temperatura medida entre as duas faces da placa foi respectivamente de  $19,46^{\circ}\text{C}$  e  $20,93^{\circ}\text{C}$ . Estes valores estão em consonância com os encontrados nas pesquisas de Barros (2018) e Sousa (2017).

No processo de resfriamento do ensaio notam-se dois comportamentos distintos em relação às faces externa e interna, no processo de diminuição de temperatura a face externa resfria exponencialmente e a face interna apresenta

um comportamento parabólico, com uma tendência de ambos se instabilizarem.

A Figura 27 traz os resultados referentes ao traço VE25. Assim como ocorreu no ensaio anterior a partir dos 10 minutos iniciais a variação de temperatura entre as faces fica praticamente constante, a seguir o Gráfico 10 mostra o comportamento dessa argamassa.

**Figura 27** – Ensaio térmico da argamassa de 25%.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

A média de temperatura da face externa máxima chegou a 82,66°C e a média da temperatura interna máxima alcançou um pico de 58,30°C.

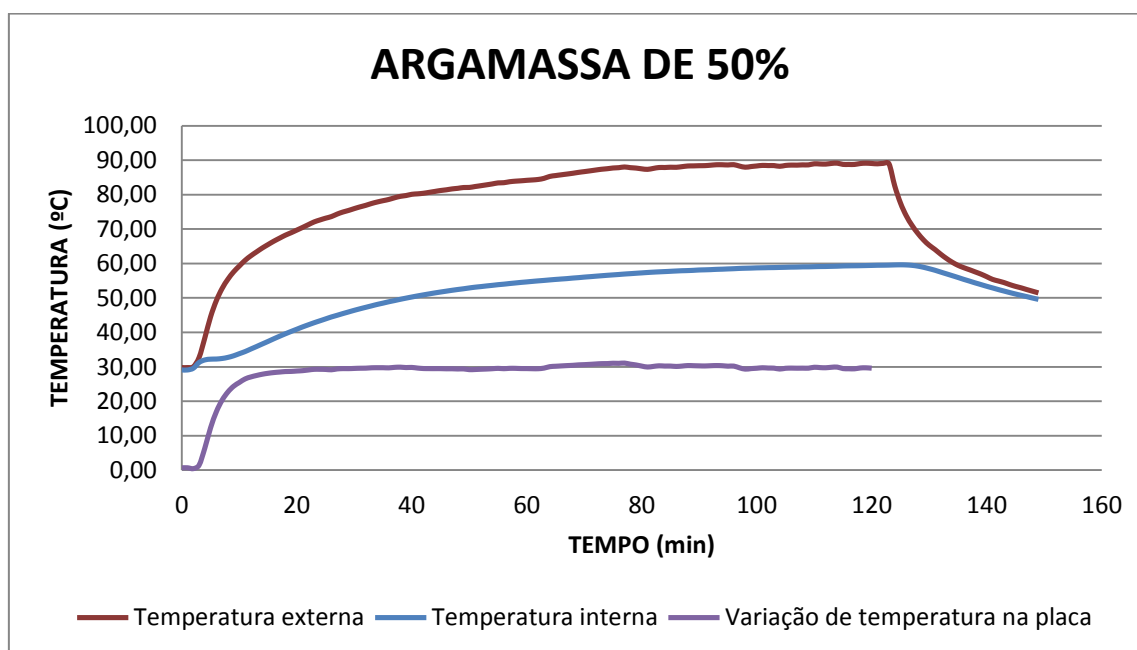
Aos 60 e 90 minutos de ensaio a diferença de temperatura medida entre as duas faces da placa foi respectivamente de 25,06 e 25,57°C. Isto significa que com a substituição em 25% da areia pela vermiculita as propriedades térmicas da argamassa, no que se refere a transferência de calor, já apresenta uma melhoria em média de 13%, se assemelhando aos valores obtidos com o traço referência, corroborando com os resultados obtidos na pesquisa realizada por Sousa (2017).

O processo de resfriamento ocorre da mesma forma que descrito no item anterior, sendo que a temperatura da face externa da argamassa decresce

exponencialmente e a da interna de forma parabólica, mantendo a tendência de estabilizar ao longo do tempo.

A Figura 28 traz os resultados referentes ao traço VE50. Assim como ocorreu nos ensaios anteriores a partir dos 10 minutos iniciais a variação de temperatura entre as faces ficam praticamente constante.

**Figura 28** – Ensaio térmico da argamassa de 50%.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

A média de temperatura da face externa máxima chegou a 89,14°C e a média da temperatura interna máxima alcançou um pico de 59,63°C, a variação de temperatura máxima entre as faces externa e interna atinge o pico de 31,09°C.

Aos 60 e 90 minutos de ensaio a diferença de temperatura medida entre as duas faces da placa foi respectivamente de 29,5°C e 30,28°C respectivamente. Observa-se que o traço com substituição de 50% de vermiculita expandida apresenta um comportamento melhor em relação ao de referência, mostrando boas propriedades de isolamento térmico e tal aumento de isolamento térmico em relação à argamassa de referência, foi de aproximadamente 36% para os 120 minutos do ensaio.

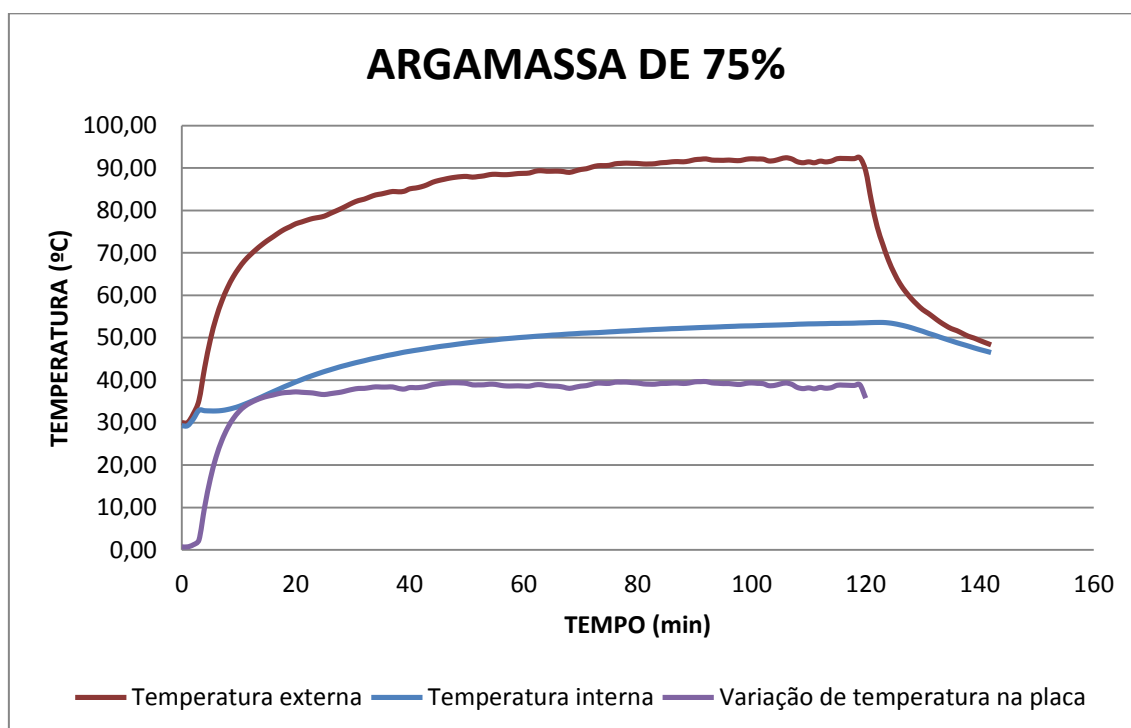
Na pesquisa realizada por Barros (2018), nota-se um aumento da difusidade térmica a partir de cada aumento de 25% nos teores de vermiculita expandida.

Sousa (2017) notou que a variação média para este mesmo teor aos 60 e 90 minutos foram de 30°C, esses valores corroboram os obtidos para esta pesquisa.

O processo de resfriamento ocorre da mesma forma que descrito no item anterior, sendo que a temperatura da face externa da argamassa decresce exponencialmente e a da interna de forma parabólica, mantendo a tendência de estabilizar ao longo do tempo.

A Figura 29 traz os resultados referentes ao traço VE75. Assim como ocorreu nos ensaios anteriores a partir dos 10 minutos iniciais a variação de temperatura entre as faces ficam praticamente constante.

**Figura 29** – Ensaio térmico da argamassa de 75%.



**Fonte:** Autoria própria, (2018).

A média de temperatura da face externa máxima chegou a 92,42°C e a média da temperatura interna máxima alcançou um pico de 53,61°C, a variação de temperatura máxima entre as faces externa e interna atinge o pico de

39,69°C. Observa-se que existe um aumento muito alto do isolamento térmico em relação à argamassa de referência, chegando a quase 76% para 120 minutos de ensaio.

Aos 60 e 90 minutos de ensaio a diferença de temperatura medida entre as duas faces da placa foi respectivamente de 38,62,5°C e 39,61°C respectivamente. Observa-se que o traço com substituição de 75% de vermiculita expandida apresenta o melhor comportamento em relação ao de referência.

O processo de resfriamento ocorre da mesma forma que descrito no item anterior, sendo que a temperatura da face externa da argamassa decresce exponencialmente e a da interna de forma parabólica, mantendo a tendência de estabilizar ao longo do tempo.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a influência da substituição de areia natural por vermiculita expandida nas propriedades da argamassa. A partir dos resultados obtidos podem-se chegar as seguintes considerações:

- A vermiculita apresentou uma considerável capacidade de absorção de água, o que levou a um aumento na relação água/aglomerante para manutenção do espalhamento requerido;
- A densidade no estado fresco se comportou de forma inversamente proporcional, ou seja, à medida que se aumenta o teor de vermiculita expandida, a massa específica diminui. Segundo Carasek (2010) os traços REF, VE25 e VE50 são classificados como argamassa de densidade normal, o traço VE75 na margem do desvio padrão é classificado como argamassa leve.
- A resistência mecânica e a absorção aumentaram nos traços VE25 e VE50 em relação o traço REF, como a areia natural usada apresentou um menor módulo de finura que a vermiculita expandida, seus grãos menores preenchem os espaços vazios entre os grãos maiores do agregado leve, além disso, a adição de cal hidratada aumenta o volume da pasta que envolve os grãos, diminuindo a fragilidade da argamassa, no traço VE75 houve um decréscimo de resistência em relação ao de traço de referência.
- O isolamento térmico aumentou de acordo com o aumento do teor de substituição do agregado leve, mostrando o melhor desempenho no traço VE75 em relação ao traço REF, demonstrando uma boa capacidade de isolamento térmico proporcionado pela vermiculita expandida às argamassas.
- O traço que reuniu as melhores características termomecânicas foi o VE50, apresentando boas condições de isolamento térmico e resistência mecânica.

Com base no exposto a substituição de areia por vermiculita expandida na argamassa traz benefícios em várias das propriedades, podendo a mesma ser utilizada para fins de revestimento com boas características de isolamento térmico e resistência mecânica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Site da ABCP**, 2014. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/quais-sao-os-tipos-de-cimento-portland/>>. Acesso em: 13 Agosto 2018.

ASSOCIASSÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo: ABCP, p. 28. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT, p. 8. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11582**: Cimento Portland - Determinação da expansibilidade de Le Chatelier. Rio de Janeiro: ABNT, p. 2. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, p. 29. 2015.

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, p. 7. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, p. 02. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar encorpado. Rio de Janeiro: ABNT, p. 02. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, p. 13. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, p. 06. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281:** Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e teto - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, p. 7. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529:** Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânica. Rio de Janeiro: ABNT, p. 04. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:** Desempenho térmico das edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, p. 23. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, p. 04. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - 4:** Edificações habitacionais – Desempenho parte 4: Sistema de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, p. 57. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733:** Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro: ABNT, p. 04. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6473:** Cal virgem e cal hidratada - Análise química. Rio de Janeiro: ABNT, p. 31. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175:** Cal hidratada para as argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, p. 4. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, p. 15. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935:** Agregados. Rio de Janeiro: ABNT, p. 6. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, p. 06. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:** Determinação da massa unitária e do volume dos vazios. Rio de Janeiro: ABNT, p. 04. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65:** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro: ABNT, p. 4. 2003.

AGUIAR, A. L. D. D. **Estudo das propriedades tecnológicas da argamassa de revestimento com incorporação da vermiculita expandida.** UFRN. Natal, p. 20. 2017.

BARROS, I. M. D. S. **Análise térmica e mecânica de argamassa de revestimento com adição de vermiculita expandida em substituição ao agregado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - UFRN. Natal, p. 86. 2018.

BERTOLINO, L. C.; PALERMO, N.; BERTOLINO, A. V. F. A. Geologia. In: ALMEIDA, S. L. M. D.; LUZ, A. B. D. **Manual de agregado para a construção civil.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. Cap. 03, p. 71-84.

BORGES, C. A. D. M. AEC Web. **Arquitetura, Engenharia e Construção**, 2013. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-importancia-da-nbr-15575-para-melhoria-da-qualidade-das-habitacoes-brasileiras\\_7296](https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-importancia-da-nbr-15575-para-melhoria-da-qualidade-das-habitacoes-brasileiras_7296)>. Acesso em: 02 Julho 2018.

CARASEK, H. Materiais de construção civil, capítulo 26 - Argamassa. **Universidade Federal de Goiás**, 2010. Disponível em: <[http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa\\_ibracon\\_cap26\\_apresentacao.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa_ibracon_cap26_apresentacao.pdf)>. Acesso em: 02 Julho 2018.

CARBOMIL. **Site da Carbomil**, 2018. Disponível em: <<http://www.carbomil.com.br/produto/cal-hidratada-ch-i/>>. Acesso em: 13 Agosto 2018.

CINTRA, C. L. D. **Argamassas para revestimento com propriedades termoacústicas, produzida a partir de vermiculita expandida e borracha**

**reciclada de pneus.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - UFScar. São Carlos, p. 154. 2013.

COMUNIDADE da Construção: Sistema à base de cimento. **Site da Comunidade da Construção:** Sistema à base de cimento, 2018. Disponível em: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/4/caracteristicas/o-sistema/61/caracteristicas.html>>. Acesso em: 30 Maio 2018.

FORTI, E. Z. **A influência da cal hidratada nas características das argamassas de revestimento realizada em obra.** TCC (Graduação em Engenharia civil) - UNIVATES. Lajeado, p. 68. 2017.

FRANÇA, S. C. A. et al. **VERMICULITA, MAIS QUE UM MINERAL TERMO ACÚSTICO.** In: IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste. João Pessoa: CETEM/MCT. Abril 2016. p. 11.

NTC Brasil. **NTC Floc,** 2018. Disponível em: <https://www.ntcbrasil.com.br/vermiculita-expandida/>>. Acesso em: 02 Junho 2018.

PASSOS, P. M. D.; CARASEK, H.; AMARAL, G. M. **AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE TÉRMICA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.** In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo: ANTAC. 2016. p. 16.

PINTO, C. S. **Curso básico em mecânica dos solos em 16 aulas.** 3. ed., Oficina de texto: São Paulo, 2006.

REIS, E. **Vermiculita no Brasil - Situação Atual.** Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)/Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). [S.l.], p. 19. 2002.

SANTIAGO, C. C. **Argamassas.** Salvador: EDUFBA, p. 207. 2007.

SOARES, A. P. D. S.; MARMORE, I. A. P. **Estudo comparativo do desempenho térmico da argamassa convencional e com adição de vermiculita.** UCB. Brasília, p. 40. 2016.

SOUSA, Á. É. M. D. **Estudo térmico e mecânico de placas cimentícias de revestimento utilizando vermiculita expandida.** TFG (Graduação em Engenharia Civil) - UFERSA. Mossoró, p. 69. 2017.

SUA OBRA. **Site da Sua Obra**, 2013. Disponível em: <<http://www.suaobra.com.br/dicas/levantamento-obra/confira-qual-traco-usar-na-argamassa-para-assentamento-de-blocos>>. Acesso em: 18 Julho 2018.

UGARTE, J. F. D. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Vermiculita. In: LUZ, A. B. D.; LINS, F. A. F. **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações.** 2ª. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. Cap. 38, p. 677-698.

















