

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**VÍVIAN APARECIDA LIMA SOUSA**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE MATERIAIS NÃO  
CONVENCIONAIS UTILIZADOS COMO REVESTIMENTO DE PAREDES,  
VISANDO À REDUÇÃO DA CARGA TÉRMICA**

**JOÃO PESSOA- PB  
2012**

**VÍVIAN APARECIDA LIMA SOUSA**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE MATERIAIS NÃO  
CONVENCIONAIS UTILIZADOS COMO REVESTIMENTO DE  
PAREDES, VISANDO À REDUÇÃO DA CARGA TÉRMICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Souto Coutinho  
Área de Concentração: Tecnologia, Trabalho e Organização  
Sub-área de Concentração: Conforto Térmico

**JOÃO PESSOA-PB  
2012**

S725e Sousa, Vívian Aparecida Lima

Estudo do comportamento de materiais não convencionais utilizados como revestimento de paredes, visando à redução da carga térmica. / Vívian Aparecida Lima Sousa. – João Pessoa, 2012.

129 f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Antônio Souto Coutinho

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) PPGEPP / Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade Federal da Paraíba - UFPB.

1. Argamassa de Gesso 2. Materiais não Convecionais 3. Condutividade Térmica 4. Conforto Térmico 5. Carga Térmica I. Título.

BC/UFPB

CDU :658.5(043)

**VÍVIAN APARECIDA LIMA SOUSA**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE MATERIAIS NÃO-CONVENCIONAIS  
UTILIZADOS COMO REVESTIMENTO DE PAREDES , VISANDO À REDUÇÃO  
DA CARGA TÉRMICA**

Dissertação julgada e **aprovada** em 10 de Fevereiro de 2012, como requisito necessário para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba.

**BANCA EXAMINADORA**

Orientador - Prof. Dr. Antonio Souto Coutinho  
Universidade Federal da Paraíba - PPGEF

Examinador externo - Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa  
Universidade Federal da Paraíba – PPGEUA

Examinador interno – Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva  
Universidade Federal da Paraíba - PPGEF

Dedico este trabalho a minha mãe e  
minha irmã, pelo apoio e participação  
na construção de tudo que sou.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pois dá razão à vida, motivação à existência e razões para prosseguir.

A minha família, por ser meu porto seguro.

A minha linda sobrinha Maysa, que sempre chegava com uma palavra doce, nas horas difíceis: “titia vai da certo.”

A Antonio Souto Coutinho, por ser professor, orientador e amigo; e pela credibilidade depositada em mim.

Ao professor Luiz Bueno da Silva pelas oportunidades, confiança e ensinamentos a mim proporcionados .

Ao professor Normando Perazzo Barbosa, pelos ensinamentos transmitidos e colaboração.

Aos amigos do PPGE, em especial a Adriana Simões, Daíse Lopes, Roberta Santos e Taiane Kamel, as amigas Márcia Ramos e Paulina Cunha, que dividiram comigo momentos acadêmicos, colaborações científicas e inesquecível amizade.

Aos funcionários do LABEME (Laboratório de Materiais e Estruturas) pela colaboraram para a realização deste trabalho e à Secretária do PPGE, Ana Araujo, pela paciência e prestesa em todos os momentos.

Ao Programa REUNI/CAPES pela oportunidade de participar de projetos que possibilitam ingressar no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e conceder a bolsa de mestrado.

Aos demais que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho

“Deus não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou deixar de fazer algo só depende da nossa vontade e perseverança”

Albert Einstein

## RESUMO

A presente dissertação estudou o comportamento térmico, físico e mecânico das argamassas de revestimentos compostas por gesso puro, gesso/EVA (ethylene-vinyl acetate copolymer) e gesso/vermiculita aplicadas nas superfícies das paredes de edificação visando à redução da carga térmica relativamente às paredes convencionais constituídas de tijolos de cerâmica e argamassas de cimento-areia, tomadas como referência. O objetivo foi obter um material capaz de reduzir a carga térmica e, por conseguinte, o consumo da energia elétrica utilizada no sistema de ar condicionado para o conforto térmico das pessoas e a proteção dos equipamentos de uma subestação elétrica da CHESF localizada em Milagres, na região semi-árida do nordeste brasileiro. As argamassas foram desenvolvidas no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas LABEME/UFPB, onde foram submetidas a testes de avaliação de suas propriedades físicas e mecânicas. O resultado mostrou que as argamassas desenvolvidas têm propriedades físicas e mecânicas que satisfazem às normas brasileiras, sendo adequadas ao uso de revestimento de paredes internos e externos. Além disso, sua aplicação implica a redução de material não degradável lançado na natureza, como o resíduo de EVA. A condutividade térmica de cada argamassa foi obtida no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas LMPT-UFSC, através do método fluxométrico. As argamassas de gesso, gesso/EVA e gesso/Vermiculita apresentaram as condutividades térmicas de 0,43 W/mK, 0,41 W/mK e 0,22 W/mK, respectivamente, comportando-se portando, como isolamentos térmicos. Os resultados mostraram que utilizando o revestimento da argamassa de gesso e de gesso/EVA tem-se uma redução de 18% de carga térmica do ambiente em relação à parede de referência. E utilizando o revestimento da argamassa de gesso/vermiculita essa redução chega a 36%.

**Palavras-chave:** Argamassa de gesso, materiais não convencionais, Condutividade Térmica, Conforto térmico e Carga térmica.



## ABSTRACT

This dissertation studied the behavior thermal, physical and mechanical of mortar coatings composed of pure gypsum, plaster / EVA (ethylene-vinyl acetate copolymer) and gypsum / vermiculite applied on surfaces of building walls in order to reduce the thermal load on the walls consisted of conventional ceramic bricks and cement-sand mortar, taken as a reference. The objective was to obtain a material capable of reducing the thermal load and therefore the consumption of electrical energy used in air conditioning system for the thermal comfort of people and protection of equipment from the electrical substation of CHESF located in Milagres, in the semi-arid northeast of Brazil. The mortars were developed at the Laboratory for Testing Materials and Structures LABEME / UFPB, and underwent tests assessing their physical and mechanical properties. The result showed that the mortars have developed physical and mechanical properties that satisfy the standards in Brazil, being suitable the use of coating internal and external walls. Moreover, its application involves the reduction of non-degradable material released in nature, as the residue of EVA. The thermal conductivity of each mortar was obtained at the Laboratory of Porous Media and Thermophysical Properties LMPT UFSC-through flowmetric method. The mortar plaster, plaster / EVA and gypsum / vermiculite showed the thermal conductivity of 0.43 W / mK, 0.41 W / mK and 0.22 W / mK, respectively, behaving as thermal insulation. The results showed that the coating using mortar and plaster gypsum / EVA had a 18% reduction of thermal load of the environment on the wall by reference. And using the coating gypsum mortar / vermiculite this reduction reached 36%.

**Keywords:** Plaster mortar, Materials not convencionais, Thermal Conductivity, Thermal comfort and thermal load.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 – Percentual de consumo final de Energia no Brasil em 2009 .....                                           | 22 |
| Figura 2.2 – Controle da qualidade do revestimento aplicado.....                                                      | 29 |
| Figura 2.3 – Propriedades da argamassa nos estados fresco e endurecido .....                                          | 30 |
| Quadro 2.1 – Materiais utilizados no estudo de compósitos à base de gesso .....                                       | 37 |
| Figura 2.4 – Balanço da energia radiante sobre um corpo sólido.....                                                   | 45 |
| Figura 2.5 – Esquema da placa quente Protegida .....                                                                  | 50 |
| Figura 2.6 – Esquemas de configurações do método fluximétrico .....                                                   | 52 |
| Figura 2.7 – Esquema do experimento do método calorímetro a água .....                                                | 53 |
| Figura 2.8 – Arranjo experimental do método do fio quente .....                                                       | 54 |
| Figura 2.9 – Representação esquemática de uma sonda térmica.....                                                      | 55 |
| Figura 2.9 – Esquema do procedimento experimental pelo método flash.....                                              | 56 |
| Figura 3.1 – Fluxograma do Trabalho Experimental .....                                                                | 64 |
| Quadro 3.1 – Variáveis e indicadores do trabalho em estudo .....                                                      | 65 |
| Gráfico 3.1 – Curva granulométrica da vermiculita .....                                                               | 66 |
| Figura 3.3 – Resíduo de EVA .....                                                                                     | 67 |
| Figura 3.5 – Aparelho para determinação da consistência da argamassa - NBR 7215 ...                                   | 70 |
| Figura 3.6 – Amostra no ensaio de consistência .....                                                                  | 70 |
| Figura 3.10 – Ensaio de Flexão 3 pontos .....                                                                         | 73 |
| Figura 3.11 – Ensaio de resistência à compressão .....                                                                | 74 |
| Figura 3.13 – Equipamento de tração - Aderímetro .....                                                                | 75 |
| Figura 3.14 – Princípio do método de medição da resistência térmica .....                                             | 76 |
| Figura 3.15 – Amostra utilizada no método fluxométrico .....                                                          | 77 |
| Gráfico 4.1 - Resistência à Tração na Flexão do gesso de revestimento.....                                            | 81 |
| Gráfico 4.2 - Gráfico da resistência à compressão do gesso de revestimento .....                                      | 82 |
| Gráfico 4.3 - Resistência à Tração na Flexão da argamassa de controle (Gesso Puro) ..                                 | 85 |
| Gráfico 4.4 - Resistência à Tração na Flexão da argamassa de Gesso/EVA.....                                           | 86 |
| Gráfico 4.5 - Resistência à Tração na Flexão da argamassa de Gesso/Vermiculita.....                                   | 86 |
| Gráfico 4.6 - Resistência à Compressão da argamassa de gesso (controle).....                                          | 87 |
| Gráfico 4.7 - Resistência à Compressão da argamassa de gesso/EVA.....                                                 | 88 |
| Gráfico 4.8 - Resistência à Compressão da argamassa de gesso/Vermiculita.....                                         | 89 |
| Figura 4.2 - Parede de alvenaria de tijolos furados revestida com argamassa de gesso/EVA .....                        | 90 |
| Figura 4.3 - Parede de alvenaria de tijolos furados revestida com argamassa de gesso/Vermiculita .....                | 90 |
| Gráfico 4.9 - Aderência à Tração da argamassa de gesso (controle).....                                                | 91 |
| Gráfico 4.10 - Aderência à Tração da argamassa de gesso/EVA .....                                                     | 92 |
| Gráfico 4.11 - Aderência à Tração da argamassa de gesso/Vermiculita .....                                             | 92 |
| Figura 4.4- Ensaio de Aderência I.....                                                                                | 93 |
| Figura 4.5- Ensaio de Aderência II .....                                                                              | 93 |
| Gráfico 4.12 -Resistência à Tração na Flexão da argamassa de Gesso ( controle ) com o aumento do teor de aditivo..... | 94 |
| Gráfico 4.13 -Resistência à Tração na Flexão da argamassa de Gesso/EVA com o aumento do teor de aditivo.....          | 95 |
| Gráfico 4.14 - Resistência à Tração na Flexão da argamassa de Gesso/Vermiculita com o aumento do teor de aditivo..... | 96 |
| Gráfico 4.15 - Resistência à Compressão da argamassa de Gesso (controle) com o aumento do teor de aditivo.....        | 97 |

|                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Gráfico 4.16 - Resistência à Compressão da argamassa de Gesso/EVA com o aumento do teor de aditivo.....</b> | <b>98</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 2.1 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos .....                                       | 29  |
| Tabela 2.2 - Comparativo de custos e consumo de material para revestimento.....                                      | 34  |
| Tabela 2.3 - Principais Produtores de Vermiculita no mundo .....                                                     | 41  |
| Tabela 2.4 - Valores típicos do coeficiente de transmissão de calor por convecção .....                              | 44  |
| Tabela 2.5 - Condutividade de Materiais de Construção.....                                                           | 48  |
| Tabela 2.6 - Acréscimo ao diferencial de temperatura - $\Delta t$ em °C.....                                         | 57  |
| Tabela 2.7 - Principais Características dos aditivos.....                                                            | 61  |
| Tabela 2.8 - Limites de Resistência à Compressão das Argamassas (28dias).....                                        | 61  |
| Tabela 2.9 - Limites de Resistência de Aderência á Tração (Ra).....                                                  | 62  |
| Tabela 3.2 - Temperaturas internas registradas em alguns setores da subestação.....                                  | 79  |
| Tabela 4.1 – Início e Fim de Pega do Gesso de revestimento.....                                                      | 80  |
| Tabela 4.2 – Resistência à Tração na Flexão do gesso de revestimento .....                                           | 81  |
| Tabela 4.3- Resistência à Compressão do gesso de revestimento.....                                                   | 82  |
| Tabela 4.4 - Índice de Consistência da argamassa de gesso ( controle).....                                           | 83  |
| Tabela 4.5 - Índice de Consistência da argamassa de gesso/EVA.....                                                   | 83  |
| Tabela 4.6 - Índice de Consistência da argamassa de gesso/Vermiculita .....                                          | 83  |
| Tabela 4.7- Tempo de Pega da argamassa de gesso (controle).....                                                      | 84  |
| Tabela 4.8 - Tempo de Pega da argamassa de gesso/EVA.....                                                            | 84  |
| Tabela 4.9- Tempo de Pega da argamassa de gesso/ Vermiculita .....                                                   | 84  |
| Tabela 4.10 – Resistência à Tração na Flexão da argamassa de controle( gesso puro) ...                               | 85  |
| Tabela 4.11 – Resistência à Tração na Flexão da argamassa de gesso/EVA.....                                          | 86  |
| Tabela 4.12 – Resistência à Tração na Flexão da argamassa de gesso/Vermiculita.....                                  | 86  |
| Tabela 4.13– Resistência à Compressão da argamassa de gesso (controle) .....                                         | 87  |
| Tabela 4.14 – Resistência à Compressão da argamassa de gesso/EVA .....                                               | 88  |
| Tabela 4.15 – Resistência à Compressão da argamassa de gesso/Vermiculita .....                                       | 88  |
| Tabela 4.17 – Aderência à Tração da argamassa de gesso/EVA.....                                                      | 91  |
| Tabela 4.18 – Aderência à Tração da argamassa de gesso/Vermiculita.....                                              | 92  |
| Tabela 4.19 – Resistência à Tração na Flexão da argamassa de gesso (controle) com o aumento do teor de aditivo.....  | 94  |
| Tabela 4.20 – Resistência à Tração na Flexão da argamassa de gesso/EVA com o aumento do teor de aditivo.....         | 95  |
| Tabela 4.21 – Resistência à Tração na Flexão da argamassa de gesso/Vermiculita com o aumento do teor de aditivo..... | 95  |
| Tabela 4.22 – Resistência à compressão da argamassa de gesso (controle) com o aumento do teor de aditivo.....        | 97  |
| Tabela 4.23 – Resistência à Compressão da argamassa de gesso/EVA com o aumento do teor de aditivo.....               | 97  |
| Tabela 4.24 – Resistência à compressão da argamassa de gesso/vermiculita com o aumento do teor de aditivo.....       | 98  |
| Tabela 4.25 – Condutividade térmicas das argamassas.....                                                             | 99  |
| Tabela 4.26 – Coeficiente Global de transmissão de calor.....                                                        | 100 |
| Tabela 4.27- Carga térmica das paredes de tijolo e revestimento da argamassa convencional (Parede Referencial).....  | 100 |
| Tabela 4.28- Carga térmica das paredes de tijolo e revestimento da argamassa de gesso .....                          | 100 |
| Tabela 4.29 - Carga térmica das paredes de tijolo e revestimento da argamassa de gesso/EVA .....                     | 100 |

|                                                                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tabela 4.30 - Carga térmica das paredes de tijolo e revestimento da argamassa de gesso/vermiculita .....</b> | <b>101</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

## SUMÁRIO

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                             | <b>17</b> |
| <b>1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA .....</b>                      | <b>17</b> |
| <b>1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA .....</b>                                | <b>21</b> |
| <b>1.3 OBJETIVOS .....</b>                                            | <b>24</b> |
| <b>1.3.1 Objetivo geral.....</b>                                      | <b>24</b> |
| <b>1.3.2 Objetivos específicos.....</b>                               | <b>25</b> |
| <b>1.4 CONTRIBUIÇÕES .....</b>                                        | <b>25</b> |
| <br>                                                                  |           |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                                   | <b>26</b> |
| <b>2.1 ERGONOMIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO .....</b>                     | <b>26</b> |
| <b>2.2 REVESTIMENTOS DE PAREDES .....</b>                             | <b>27</b> |
| <b>2.2.1 Propriedades do revestimento de argamassas .....</b>         | <b>29</b> |
| <b>2.2.2 Propriedades das argamassas no estado fresco .....</b>       | <b>30</b> |
| 2.2.2.1 Massa específica e teor de água.....                          | 30        |
| 2.2.2.2 Trabalhabilidade .....                                        | 30        |
| 2.2.2.3 Retenção de água .....                                        | 31        |
| 2.2.2.4 Aderência inicial.....                                        | 31        |
| 2.2.2.5 Retração na secagem .....                                     | 31        |
| <b>2.2.3 Propriedades das argamassas no estado endurecido .....</b>   | <b>31</b> |
| 2.2.3.1 Aderência.....                                                | 31        |
| 2.2.3.2 Capacidade de absorver deformações.....                       | 32        |
| 2.2.3.3 Resistências Mecânicas .....                                  | 32        |
| 2.2.3.4 Resistência à abrasão .....                                   | 33        |
| 2.2.3.5 Durabilidade .....                                            | 33        |
| <b>2.2.4 Composição e dosagem das argamassas .....</b>                | <b>33</b> |
| <b>2.3 ARGAMASSAS DE GESSO .....</b>                                  | <b>33</b> |
| <b>2.4 MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS UTILIZADOS EM ARGAMASSAS .....</b> | <b>34</b> |
| 2.4.1 Gesso .....                                                     | 35        |
| 2.4.2 Composições à base de gesso .....                               | 36        |
| 2.4.3 Etileno Acetato de Vinila- EVA.....                             | 38        |
| 2.4.4 Vermiculita.....                                                | 41        |
| <b>2.5 CONFORTO TÉRMICO.....</b>                                      | <b>42</b> |
| <b>2.6 COMPORTAMENTO TÉRMICO.....</b>                                 | <b>43</b> |
| <b>2.6.1 Mecanismos de transmissão de calor .....</b>                 | <b>43</b> |
| 2.6.1.1 Convecção .....                                               | 43        |
| 2.6.1.2 Radiação .....                                                | 45        |
| 2.6.1.3 Condução .....                                                | 46        |
| <b>2.6.2 Condutividade térmica.....</b>                               | <b>47</b> |
| <b>2.6.3 Métodos para medir condutividade térmica .....</b>           | <b>49</b> |
| 2.6.3.1 Métodos em regime permanente .....                            | 49        |
| 2.6.3.1.1 Método da placa quente protegida .....                      | 49        |
| 2.6.3.1.2 Método fluximétrico .....                                   | 51        |
| 2.6.3.1.3 Método do calorímetro a água.....                           | 52        |
| 2.6.3.2 Métodos em regime transiente.....                             | 53        |
| 2.6.3.2.1 Método do fio quente.....                                   | 53        |
| 2.6.3.2.2 Sondas térmicas .....                                       | 54        |
| 2.6.3.2.3 Método flash.....                                           | 55        |
| <b>2.6.4 Carga Térmica .....</b>                                      | <b>56</b> |

|                                                                                         |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 2.6.5 Coeficiente global de transferência térmica (U) .....                             | 57     |
| 2.7 COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO .....                                               | 58     |
| 2.7.1 Consistência.....                                                                 | 58     |
| 2.7.2 Tempo de pega .....                                                               | 59     |
| 2.7.2.1 Fatores que influem no tempo de pega .....                                      | 59     |
| 2.7.2.1.1 Aditivos retardadores.....                                                    | 60     |
| 2.7.3 Resistência à compressão .....                                                    | 61     |
| 2.7.4 Resistência à Tração na flexão .....                                              | 62     |
| 2.7.5 Resistência de a Aderência à tração.....                                          | 62     |
| <br>3 METODOLOGIA.....                                                                  | <br>63 |
| 3.1 TIPOLOGIA DA PESQUISA .....                                                         | 63     |
| 3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO .....                                                     | 64     |
| 3.3 MATERIAIS .....                                                                     | 65     |
| 3.3.1 Gesso .....                                                                       | 65     |
| 3.3.2 Vermiculita.....                                                                  | 66     |
| 3.3.3 Resíduo de Etileno Acetato de Vinila (EVA) .....                                  | 67     |
| 3.3.4 Aditivos retardadores.....                                                        | 68     |
| 3.3.5 Água .....                                                                        | 68     |
| 3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....                                                     | 68     |
| 3.4.1 Índice de consistência .....                                                      | 68     |
| 3.4.2 Tempo de pega .....                                                               | 70     |
| 3.4.3 Moldagem dos corpos de prova.....                                                 | 71     |
| 3.4.4 Resistência à tração na flexão.....                                               | 73     |
| 3.4.5 Resistência à compressão .....                                                    | 74     |
| 3.4.6 Resistência de aderência à tração .....                                           | 74     |
| 3.4.7 Condutividade Térmica .....                                                       | 76     |
| 3.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO .....                                               | 77     |
| 3.5.1 Estudo de caso teórico .....                                                      | 78     |
| 3.5.1.1 Identificação da área da pesquisa .....                                         | 79     |
| 3.5.1.2 Coleta e tratamento dos dados .....                                             | 79     |
| <br>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                                                     | <br>80 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO GESSO DE REVESTIMENTO .....                                       | 80     |
| 4.1.1 Propriedades físicas do gesso de revestimento .....                               | 80     |
| 4.1.1.1 Consistência do gesso de revestimento .....                                     | 80     |
| 4.1.1.2 Tempo de pega do gesso de revestimento .....                                    | 80     |
| 4.1.2 Propriedades Mecânicas do Gesso de Revestimento .....                             | 81     |
| 4.1.2.1 Resistência à tração na flexão do gesso de revestimento .....                   | 81     |
| 4.1.2.2 Resistência à compressão do gesso de revestimento .....                         | 82     |
| 4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ARGAMASSAS.....                                            | 82     |
| 4.2.1 Consistência das argamassas .....                                                 | 83     |
| 4.2.2 Tempo de Pega das argamassas .....                                                | 84     |
| 4.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS.....                                          | 85     |
| 4.3.1 Resistência à tração na flexão das argamassas .....                               | 85     |
| 4.3.2 Resistência à compressão das argamassas.....                                      | 87     |
| 4.3.3 Resistência de aderência à tração .....                                           | 89     |
| 4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS COM AUMENTO DO<br>TEOR DE ADITIVOS .....      | 94     |
| 4.4.1 Resistência à tração na flexão das argamassas com aumento do teor de aditivos.... | 94     |

|                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.2 Resistência à compressão das argamassas com aumento do teor de aditivos .....                                  | 96  |
| 4.5 PROPRIEDADES TÉRMICAS .....                                                                                      | 99  |
| 4.5.1 Condutividade Térmica .....                                                                                    | 99  |
| 4.6 ANÁLISE TEÓRICA DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS ARGAMASSAS<br>PROPOSTAS EM UMA SUBESTAÇÃO DA CHESF EM MILAGRES-CE..... | 99  |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                                                                                          | 102 |
| 5.1 PROPRIEDADES FÍSICAS .....                                                                                       | 102 |
| 5.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS .....                                                                                     | 102 |
| 5.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS .....                                                                                      | 103 |
| 5.4 PONTO DE VISTA TERMOAMBIENTAL .....                                                                              | 103 |
| 5.5 ASPECTOS ECOLÓGICOS .....                                                                                        | 104 |
| 5.6 ECONOMIA DE ENERGIA PROPORCIONADA PELO DAS ARGAMASSAS EM<br>ESTUDO.....                                          | 104 |
| 5.7 NECESSIDADE DE ESTUDOS FUTUROS .....                                                                             | 105 |
| REFERÊNCIAS .....                                                                                                    | 106 |
| ANEXO A- MÉTODO FLUXOMÉTRICO PARA DETERMINAÇÃO .....                                                                 | 116 |
| ANEXO B- CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA.....                                                                               | 118 |



## 1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a definição do tema e do problema que norteou a pesquisa, bem como a justificativa do trabalho proposto. Essa justificativa descreve a importância deste trabalho, bem como as respectivas contribuições. São também mostrados o objetivo geral e os objetivos específicos a serem alcançados.

### 1.1 Definição do Tema e do Problema

As edificações em geral são grandes consumidoras de energia. Em regiões com condições climáticas desagradáveis, de altas temperaturas e/ou umidade, por exemplo, parte do consumo de energia é devida ao resfriamento e/ou desumidificação artificiais do ar dos ambientes construídos.

Para o projeto do ambiente construído os fatores climáticos representam grande influência para obtenção do conforto de seus ocupantes e eficiência em termos de consumo (LAMBERT, DUTRA e PEREIRA, 1997).

Bins Ely (2003 apud FIGUEIREDO et al., 2003) entende que, as características do ambiente podem dificultar ou facilitar a realização das atividades, existindo uma ação e reação entre o ambiente e o comportamento humano, de tal forma que um influencia o outro mutuamente.

Segundo Monte (2006), a relação do usuário com o espaço construído é destacada pelos requisitos físicos referentes à sua condição humana e as mudanças causadas pela sua evolução, sendo estas resultantes da própria variação etária, das questões físico-ambientais e dos avanços tecnológicos.

Nas questões físico-ambientais são destacados os condicionantes naturais e a salubridade, através das reações corpóreas associadas à adequada ventilação, iluminação, conforto térmico e acústico, ao bom dimensionamento espacial, além do entorno, que interfere na qualidade do habitar. Tudo isto depende não só das condições climáticas do local, mas também da orientação e construção dos edifícios (MONTE, 2006).

Dentre esses fatores, o conforto térmico está relacionado ao desejo que o homem tem de sentir-se bem. Varias pesquisas realizadas em laboratórios e em campo têm sido desenvolvidas para verificar a relação entre o conforto térmico e o desempenho da pessoa (SILVA, 2001). Segundo uma pesquisa desenvolvida por Nelson et al. (1987 apud LULA e SILVA, 2002), utilizando câmaras de testes com temperatura e umidade controladas, analisaram a relação entre produtividade,

fadiga e estado psicológico. Seus resultados mostraram que a produtividade foi maior e a fadiga desenvolveu-se mais lentamente em ambientes frios do que em ambientes quentes.

Bauman (1999 apud SILVA, 2001) acrescenta: “os ambientes termicamente confortáveis favorecem a maximização da qualidade dos serviços; o trabalhador se sente mais atraído pelo posto de trabalho, por sua atividade e pelos resultados positivos das tarefas, haja vista a diminuição de queixas tanto em relação às necessidades individuais quanto a doenças adquiridas nesses ambientes, resultando em redução de custos operacionais”.

A fim de obter-se o conforto térmico é necessário calcular a carga térmica do ambiente considerado. Para isso, é necessário definir calor. Calor é energia em trânsito entre um sistema e sua vizinhança devido a uma diferença de temperatura entre eles (ÇENGEL e BOLES, 2008) Neste trabalho, o sistema é o ambiente interno e a vizinhança é o seu exterior.

Segundo Creder (2004), Carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser retirada ou colocada no recinto a fim de proporcionar as condições desejadas. Essa carga térmica pode ser introduzida no recinto a condicionar por:

- Condução
- Insolação:
- Dutos
- Pessoas
- Equipamentos
- Infiltração
- Ventilação

Há três modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação. A condução é a transferência de energia térmica entre as partes adjacentes de um corpo, ou de um corpo para outro quando postos em contato, sempre que há uma diferença de temperatura entre eles. A radiação acontece entre corpos afastados, com temperaturas diferentes, através de ondas eletromagnéticas, em linhas retas e à velocidade da luz. E a Convecção ocorre entre uma superfície sólida e um fluido com o qual está em contato, sempre que há uma diferença de temperatura entre eles.

Um dos meios para reduzir a carga térmica por transmissão de calor em ambientes climatizados é através da aplicação de revestimentos das superfícies envoltórias com baixa condutividade térmica, segundo Maciel et al. (1998), o revestimento de argamassa apresenta importantes funções ,que são, genericamente:

- Proteger os elementos de vedação dos edifícios da ação direta dos agentes agressivos; no caso de revestimento externo de argamassa;

- Auxiliar as vedações no cumprimento das suas funções como, por exemplo, o isolamento térmico, isolamento acústico e a estanqueidade à água e aos gases; no caso de revestimento interno de argamassa;
- Regularizar a superfície dos elementos de vedação, servindo de base regular e adequada ao recebimento de outros revestimentos ou constituir-se no acabamento final;
- Contribuir para a estética da fachada.

Sendo assim, tem-se como foco desse trabalho a função do revestimento interno de argamassa atuando como isolamento térmico, pois o isolamento térmico nas construções implica redução da carga térmica, e consequente redução do consumo de energia tanto para resfriamento como para aquecimento, que contribui para um eficaz projeto do ambiente sob a ótica ergonômica.

Segundo Resende (2011), a utilização de isolamentos térmicos para climatização de edifícios é vantajosa, pois evita desperdícios e aumenta o rendimento térmico da energia empregada, permitindo que os ganhos térmicos sejam minimizados. Para Adam (2009) existem dois pontos críticos para um bom isolamento térmico de um edifício: toda a superfície divisória entre o exterior e interior do ambiente, isto é, as paredes e coberturas em contato com o ambiente externo devem estar envolvidas pelo material isolante; e os materiais empregados no isolamento térmico devem possuir baixa condutividade térmica.

Sendo assim, o gesso tem sido usado como argamassa para revestimento de paredes e tetos de ambientes internos e secos (ANTUNES, 1999). É um material que apresenta propriedades muito atrativas para a produção de revestimentos, tais como: endurecimento rápido, propriedades mecânicas compatíveis com os esforços atuantes, boa aderência aos substratos, ausência de retração por secagem e excelente acabamento superficial. Além dessas vantagens, podem-se destacar as boas propriedades térmicas e acústicas, bem como resistência ao fogo (OLIVEIRA, 2009).

Segundo Ribeiro (2006), o gesso é um dos mais antigos materiais de construção fabricados pelo homem, o qual é obtido através da extração de um mineral chamado gipsita, que passa pelos processos de cominuição, calcinação, pulverização e embalagem.

Pesquisas relacionadas à utilização de matrizes gesso para a produção de compósitos aplicados, principalmente em painéis, têm sido desenvolvidas utilizando fibras de vidro, de sisal, de celulose e de materiais particulados como, resíduos industriais, polímeros, vermiculita e cortiça (OLIVEIRA, 2009).

Dentre esses materiais citados, a vermiculita é um argilo-mineral derivado de alteração de micas, que possui a peculiaridade de expandir-se quando submetida a altas temperaturas, e é dessa característica que decorre seu valor industrial. Este argilo-mineral é usado principalmente na forma

expandida em aplicações de isolamento térmico, acústico, barreira contra fogo, agregados leves, condicionador de solos, entre outros (REIS, 2001).

A vermiculita expandida dentro da construção civil pode ser aplicada como placas de isolamentos térmicos e revestimentos de paredes por se tratar de um material com propriedades isolantes. Quando aquecida na faixa de 800 a 1000°C tem baixa densidade (entre 0,15 e 0,25 g/cm<sup>3</sup>), área de superfície específica entre 6,0 e 8,0 m<sup>2</sup>/g (granulação superfina) e capacidade de troca catiônica elevada (100 a 130 meq/100g), tendo o potássio e o magnésio como principais cátions trocadores (UGARTE e MONTE, 2006).

Outros materiais são os polímeros, macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e interações intra e intermoleculares. Possuem unidades químicas ligadas por covalências, repetidas regularmente ao longo da cadeia, denominadas meros (BESSA, 2008).

O polímero tem sido utilizado como modificador de propriedade mecânicas e térmicas do cimento Portland, tendo sua primeira publicação detalhada sobre argamassas polimericamente modificadas (PMM) e concretos (PMC) sido emitida em 1953. Desde então, os polímeros têm sido adicionados às argamassas e concretos para melhorar algumas propriedades como trabalhabilidade, retenção de água, impermeabilidade, resistência à flexão e adesivos, e deformabilidade. Entre as diversas alternativas de polímeros disponíveis no mercado o EVA (Etileno Acetato de Vinila) tem sido escolhido como padrão preferido no conjunto de argamassa seca porque pode ser amplamente encontrada na forma de pó e ter excelente compatibilidade com os sistemas de base de cimento (MANSUR, MANSUR e NASCIMENTO, 2009). E segundo Polari (2005), o EVA pode ser usado também como isolante térmico.

Segundo Pimentel (2005), quanto ao comportamento térmico os polímeros podem classificar-se em:

a) Termoplásticos, que são aqueles que permitem a sua fusão por aquecimento e, após o resfriamento, podem ser novamente moldados, e re-processados várias vezes;

b) Termofixos, ou termorígidos, que após serem moldadas, não permitem mais a possibilidade de fusão, ou seja, não podem ser re-processados, pois não se fundem, porém, quando são novamente aquecidos, decompõem-se.

O EVA é um polímero termofixo, sendo, portanto bastante difícil de ser reprocessado. Ele é um composto micro-poroso contendo, agente de expansão, agente reticulante e cargas, ativadores e auxiliares de processo, além de outros polímeros como a borracha (PIMENTEL, 2005).

Segundo Barbosa (2005), compósitos com vermiculita e o EVA são classificados como materiais não convencionais, porque não são ainda regidos por normas técnicas já bem

estabelecidas, aceitas e difundidas mundialmente. Embora já se tenha muito caminhado no sentido do desenvolvimento de documentos normativos consensuais. Em vista disso, algumas de suas propriedades térmicas e mecânicas são desconhecidas, tais como aquelas resultantes de misturas com aglomerantes conhecidos, como o gesso/Eva e gesso/ vermiculita.

Como se vê, o desempenho térmico do revestimento das construções é determinado pelas propriedades térmicas dos materiais, entendendo-se por propriedade térmica a resposta ou reação do material à aplicação de calor (MORA, 2010).

Diante do exposto, esta dissertação investigou:

**Em que medida o revestimento composto da mistura de gesso com EVA e de gesso com vermiculita aplicados sobre as superfícies internas das paredes do ambiente construído reduz a carga térmica em relação às paredes sem o referido revestimento?**

## **1.2 Justificativa do Tema**

No Brasil, em virtude de haver predominância de climas quentes e úmidos, especial atenção deve ser dada à influência do desconforto térmico na disposição da pessoa para realização do trabalho. Sob esse aspecto, convém ressaltar que as condições térmicas dos ambientes laborais não dependem somente do clima. Mas também do calor liberado nas atividades desenvolvidas pela própria pessoa e pelos equipamentos envolvidos nos processos, bem como pelas características construtivas do ambiente, que devem ter capacidade de minimizar os ganhos externos de calor para manter condições internas adequadas ao conforto térmico das pessoas. As paredes de pequena espessura têm baixa inércia térmica e, geralmente, permitem temperaturas do ar interno superiores às do ar externo (XAVIER, 1999).

A temperatura, a umidade, e velocidade do ar, a radiação térmica, a atividade desenvolvida e resistência térmica das vestimentas do indivíduo são consideradas as principais variáveis que influenciam no conforto térmico. O conjunto destas variáveis é responsável pela perda de calor em quantidade maior ou menor do que a produzida pelo organismo humano, proporcionando um ambiente considerado frio, quente ou em neutralidade térmica. Neste último caso, a dissipação do calor é realizada na medida correta do calor produzido pelo organismo (ARAÚJO (2001 apud LOUREIRO, 2003); COUTINHO, 2005; LAMBERT 1997; SANTOS, 2002).

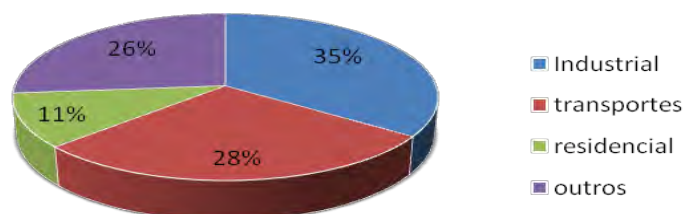
O conforto térmico tem grande parcela de contribuição no conforto ambiental, ou seja, influi diretamente no desempenho profissional e, também, na saúde das pessoas. A temperatura sob a qual

é submetida uma pessoa dentro de uma edificação pode exercer grande influência sobre seu comportamento, reações, estado físico e psíquico (COUTINHO, 2005).

Geralmente, em climas quentes, as condições de conforto térmico em ambientes de trabalho ou residências, são obtidas pela utilização de refrigeração artificial, implicando em alto consumo de energia. Entretanto, este consumo de energia pode ser minimizado através do emprego de isolantes térmicos nas construções, os quais reduzem a carga térmica nos ambientes e, por conseguinte, a quantidade de energia utilizada para manter a temperatura e a umidade desejadas nesses ambientes (ADAM, 2009).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME) (2010), o perfil do consumo de energia elétrica geral no Brasil é representado pela Figura 1.1, onde se percebe que o setor industrial é o maior consumidor de energia, respondendo a 35% do consumo total. O setor de transportes responde por 28% do consumo de energia elétrica do país. E, segundo a PROCEL (2007), sabe-se que 48% da energia gasta no setor comercial é devido aos equipamentos condicionadores de ar, mostrando que os grandes consumidores de energia são aqueles equipamentos.

Figura 1.1 – Percentual de Consumo Final de Energia no Brasil em 2009



Fonte: MME, 2010.

Em sua maioria, os equipamentos condicionadores de ar têm valores aproximados de coeficiente de performance ou COP. Para uma mesma carga térmica, o consumo varia de acordo com o tipo de compressor e refrigerante usados para a mesma capacidade de refrigeração. Devido ao crescente problema energético, recomenda-se uma análise do desempenho térmico das edificações, com objetivo de reduzir sua carga térmica a um valor mínimo. Um dos fatores mais importantes que influenciam no consumo da energia é a escolha do equipamento de menor consumo, para a mesma carga térmica devendo-se ter em conta os seguintes procedimentos: procurar usar temperaturas internas de 24°C; dimensionar corretamente o sistema; realizar mudanças estruturais que diminuam a carga térmica do sistema.(PROCEL 2007)

De acordo com Araujo (2001 apud DANTAS FILHO, 2004), o estudo do conforto térmico, com ênfase nos materiais, merece atenção especial, haja vista a possibilidade de futura crise energética mundial. Neste sentido procura-se conciliar economia de energia e conforto ao indivíduo. Para isso é necessário o desenvolvimento de novos materiais e sistemas construtivos, que levem ao aprimoramento dos conhecimentos tecnológicos.

Outro fator importante nas edificações são as características das superfícies de revestimento dos materiais, tais como as cores aplicadas e as aberturas utilizadas para permitir iluminação e ventilação naturais no espaço (BONATES, 2002).

Embora nem sempre se perceba de maneira clara, a escolha dos diversos materiais empregados nas construções é responsável pelo aumento da conta de energia elétrica. Isso é decorrente das características de cada material, principalmente a condutividade térmica. Como será visto mais adiante, quanto maior for o seu valor, maior será o ganho de calor, para uma mesma diferença da temperatura entre o interior e o exterior de uma edificação. Por essa razão, prioriza-se a utilização de materiais de baixa condutividade térmica para reduzir os fluxos de calor através das envoltórias (ALMEIDA, 2011).

Os materiais de construção têm uma forte influencia sobre as condições de conforto do ambiente interior. A especificação dos materiais exige o entendimento de suas propriedades e de sua adequação às características do projeto. O uso de isolamento térmico ou proteção solar em paredes, janelas e telhados, o tipo de telha e o tipo de vidro empregados nas janelas devem ser estudados a fim de se evitar ganhos térmicos excessivos e obter melhorias nas condições de conforto no interior (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 1997).

A aplicação de isolantes térmicos é diversificada, podendo ocorrer em tubulações industriais, que transportam fluidos quentes ou frios, e em paredes de fornos ou de câmaras frigoríficas. No caso de superfícies quentes esses procedimentos têm como objetivo evitar os riscos de queimaduras e o aquecimento dos ambientes. Já no caso das paredes de câmaras frigoríficas, os isolantes servem para evitar ganhos de calor e temperaturas externas inferiores à temperatura de orvalho, o que causaria infiltração de água condensada. A aplicação de isolantes em paredes, também ocorre, frequentemente com o objetivo de evitar a insalubridade térmica ou gasto exagerado de energia na manutenção do conforto térmico do ambiente (COUTINHO, 2005).

Em princípio a aplicação de isolantes térmicos em edificações traz benefícios como diminuição no consumo de energia, pois diminui a troca de calor entre o ambiente interno e externo, permitindo a utilização de uma quantidade menor de energia para manter a temperatura e, portanto, a redução do custo para a climatização de ambientes (ADAM, 2009; COUTINHO; LAMBERT,

1997; LOUREIRO, 2003; NOGUEIRA e NOGUEIRA, 2003; POLARI FILHO et al., 2003; SANTOS, 2002).

Segundo Michels (2007), considera-se um bom isolante térmico o material cuja condutividade térmica é baixa em relação aos materiais usuais, causando uma redução da transferência de calor entre dois ambientes.

Segundo Lima (2005), a incorporação de resíduos industriais na produção de materiais de construção pode reduzir o consumo de energia, além de trazer outros benefícios visíveis, pois diminui consideravelmente o volume de rejeitos a serem depositados em aterros sanitários, reduzindo a poluição ambiental.

De acordo com Resende (2011), a utilização de resíduos industriais como matéria-prima de novos produtos valoriza-os, modificando o seu ciclo de vida, pois passam a ser tratados como matéria-prima de um novo processo produtivo e não como materiais a serem descartados, o que provoca preocupação quanto às formas e meios corretos de eliminação em busca da mitigação do comprometimento do meio ambiente.

Diante do exposto observa-se a importância de reduzir a carga térmica dos ambientes construídos, sendo esta redução pretendida neste trabalho através do estudo do comportamento térmico e mecânico de materiais não convencionais utilizados como revestimento interno de paredes nas edificações.

A presente dissertação faz parte de um projeto da UFPB com a CHESF, o qual envolve, além desta dissertação, mais uma dissertação, uma tese de doutorado e uma monografia.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Estudar o comportamento térmico, físico e mecânico de revestimentos de argamassas contendo materiais não convencionais aplicadas nas superfícies das paredes de edificação visando à redução da carga térmica relativamente às paredes originais em ambientes construídos.



### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Conhecer o comportamento das propriedades físicas das argamassas de gesso com EVA, bem como de gesso com vermiculita.
- Conhecer o comportamento das propriedades mecânicas das argamassas de gesso com EVA, bem como de gesso com vermiculita.
- Obter propriedades térmicas das argamassas de gesso com EVA, bem como de gesso com vermiculita.
- Quantificar a carga térmica através das paredes do ambiente revestidas internamente com as argamassas em estudo;
- Quantificar a carga térmica através das paredes originais do ambiente, constituídas de tijolos e rebocadas com argamassa comum em ambas as faces;
- Verificar a redução percentual da carga térmica obtida com a aplicação de cada revestimento desenvolvido em relação às paredes originais do ambiente.

### 1.4 Contribuições

Este trabalho pode representar as seguintes contribuições:

- Científica:
  - 1) Aumento do conhecimento de propriedades físico-mecânicas de misturas de materiais não convencionais para utilização na construção civil.
  - 2) Estimulo à pesquisa das propriedades térmicas de misturas de materiais não convencionais, favorecendo o avanço de pesquisa na linha de Ergonomia do Ambiente Construído.
- Práticas:
  - 1) Economia de energia na utilização de sistema de climatização
  - 2) Redução de resíduos de EVA na natureza, os quais são biodegradáveis.
  - 3) Possibilidade de construção de edificações com custos ínfimos.

## 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conhecimento e a reflexão sobre o estado da arte são de primordial importância para a realização eficiente de qualquer trabalho de pesquisa, uma vez que as contribuições teóricas dão suporte e estruturam as pesquisas. Neste sentido este capítulo, composto de cinco itens, objetiva apresentar uma leitura condensada e analítica dos fundamentos teóricos que norteiam este trabalho, estando os assuntos ordenados conforme os aspectos que constituem o eixo temático.

### 2.1 Ergonomia do Ambiente Construído

A IEA – International Ergonomics Association – define ergonomia como “uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos, a fim de otimizar o bem-estar humano e o desempenho global do sistema” (IEA, 2011).

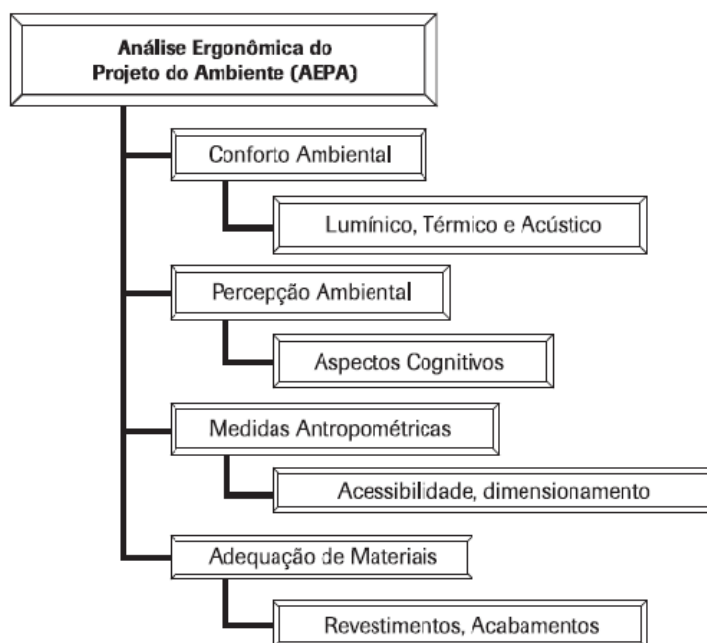
A ergonomia tem evoluído como uma disciplina única e independente que se concentra na natureza humana, vista de uma perspectiva unificada para a ciência, engenharia, design, tecnologia e sistemas de gestão de recursos humanos, incluindo uma variedade de produtos naturais e artificiais, processos e ambientes (KARWOWSKI, 2006).

Segundo Falcão et al. (2009), a ergonomia tem expandido suas fronteiras de atuação, agregando aspectos relacionados à realização do trabalho e que inicialmente poderiam parecer dissociados desse processo. A antropotecnologia, a macroergonomia e a ergonomia ambiental são exemplos de segmentos recentes da prática ergonômica.

A ergonomia do ambiente construído, também conhecida como ergonomia ambiental, corresponde a mais uma vertente que se insere nas pesquisas da relação do homem com o ambiente, a partir dos aspectos sociais, psicológicos, culturais e organizacionais (FALCÃO et al., 2009).

Esse entendimento estabelece a necessidade de uma abordagem sistêmica quando se trata de avaliar o ambiente sob a ótica da ergonomia. Uma completa avaliação ergonômica do ambiente abrange um vasto leque de variáveis, demandando esforços a partir de diversas áreas envolvidas no processo de projeto do ambiente construído (FALCÃO et al., 2009). A Figura 2.1 mostra os fatores necessários para a análise ergonômica do projeto do ambiente (AEPA).

**Figura 2.1- Fatores Componentes de uma análise Ergonômica do Projeto do Ambiente**



Fonte: Villarouco et al. (2005).

De acordo com Villarouco e Andreto (2008), no processo de avaliação ergonômica do ambientes, três grupos de elementos são de fundamental importância:

- Aspectos técnicos e materiais – concepção espacial, layout, conceitos dimensionais, mobiliário, materiais de revestimento e conforto ambiental;
- Aspectos organizacionais – recursos humanos, normas e procedimentos que disciplinem a organização do trabalho;
- Aspectos psicológicos – percepção do usuário, fronteiras dos espaços, comunicação humana e estética.

Face ao exposto, dentre todos os fatores e grupos de elementos que devem ser estudados para a análise ergonômica do ambiente construído, são abordados nesse trabalho os aspectos técnicos e materiais, que dizem respeito à adequação dos materiais para revestimentos e acabamentos, levando em consideração o conforto térmico ao ambiente.

## **2.2 Revestimentos de Paredes**

Entende-se por revestimento, as camadas de materiais externa e interna que cobre parede bem como, piso e teto, como argamassa, tinta, pedra, entre outros, para dar-lhe acabamento, conferindo melhor aspecto visual. O revestimento também serve de importante camada de proteção

para as estruturas de concreto e alvenarias, reduzindo os riscos de infiltrações, promovendo um melhor conforto térmico e acústico, e como consequência uma melhora significativa do ambiente construído (FERREIRA e FORTES, 2009).

Os principais requisitos de desempenho dos revestimentos estão relacionados às propriedades finais no estado endurecido, como a resistência de aderência, o módulo elástico e a permeabilidade, parâmetros importantes para promoverem maior durabilidade das edificações. (CARDOSO, JOHN e PILEGGI, 2010).

As argamassas são aplicadas no estado fluido e, apesar de ser uma etapa curta e intermediária do processo, o comportamento destas no estado fresco é de fundamental importância para possibilitar uma aplicação produtiva e isenta de defeitos. A adequação das características reológicas das argamassas às diversas solicitações envolvidas na aplicação permite a obtenção das melhores propriedades finais do revestimento, que são determinadas pelas formulações (composição química, granulométrica, teor de água, aditivos e adições entre outros.) (CARDOSO, JOHN e PILEGGI, 2010).

Segundo a NBR 13529-95 as argamassas de revestimento são misturas homogêneas de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.

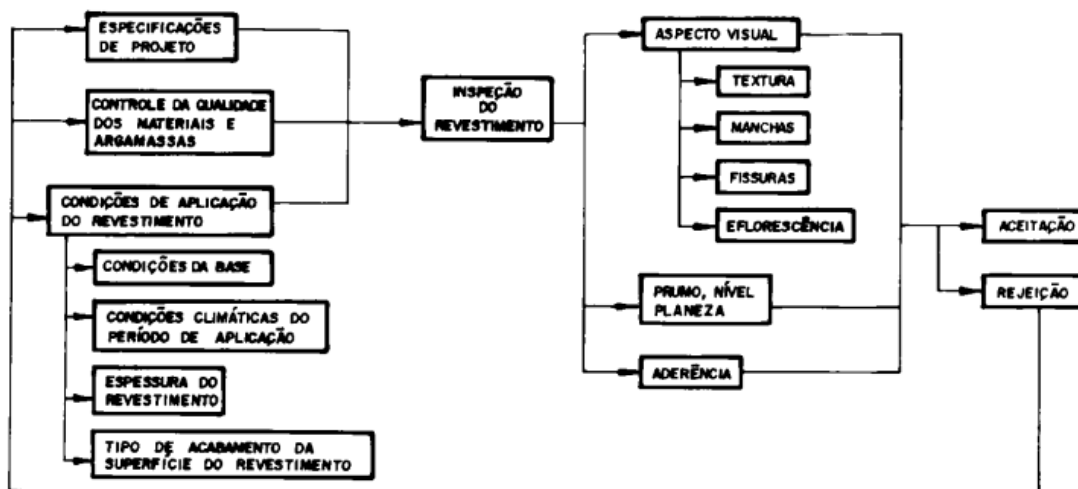
De acordo com a NBR 13749- 96 as argamassas de revestimentos devem satisfazer às seguintes condições:

- Os materiais e as respectivas proporções de dosagem devem ser compatíveis com o acabamento e as condições de exposição previstas;
- Ter resistência mecânica compatível com o acabamento decorativo selecionado;
- Quando coloridas, o pigmento empregado deve resistir à ação da radiação ultravioleta e à alcalinidade das argamassas.

Para garantir a proteção dos elementos de vedação das edificações contra ações de agentes agressivos, proporcionar estanqueidade à água, segurança ao fogo, resistir aos desgastes superficiais, apresentar textura uniforme e contribuir com o isolamento térmico e acústico, as argamassas de revestimentos devem ser elaboradas e produzidas para atender às exigências das propriedades necessárias, tanto no estado fresco quanto no endurecido a fim de assegurar o bom desempenho, qualidade e durabilidade (SANTOS 2008).

A Figura 2.2 mostra o controle da qualidade do revestimento aplicado em edificações.

Figura 2.2 – Controle da qualidade do revestimento aplicado



Fonte: NBR 13749-1996

Para avaliação das características e desempenho das argamassas de revestimentos no estado fresco e endurecido, deverão ser realizados os ensaios específicos previstos em normas da ABNT. (Associação Brasileira de Normas Técnicas) (SANTOS 2008).

A NBR 13749 (ABNT, 1996) estabelece as seguintes espessuras para revestimento interno e externo de paredes e tetos conforme a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos

| Revestimento              | Espessura (mm)      |
|---------------------------|---------------------|
| Parede Interna            | $5 \leq e \leq 20$  |
| Parede externa            | $20 \leq e \leq 30$ |
| Tetos internos e externos | $e \geq 20$         |

Fonte: NBR 13749 (1996)

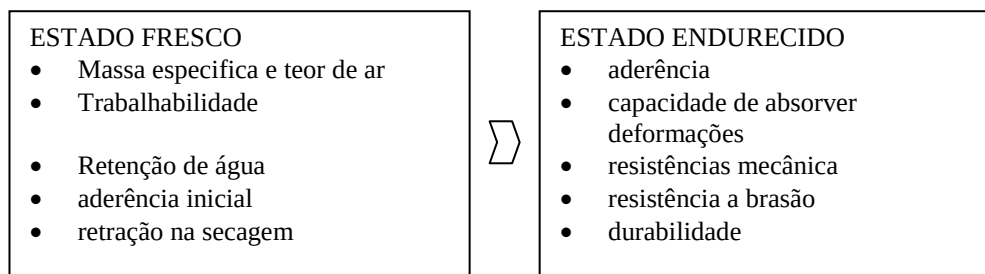
### 2.2.1 Propriedades do Revestimento de Argamassas

Para que os revestimentos de argamassa possam cumprir adequadamente as suas funções, eles precisam apresentar um conjunto de propriedades específicas que são relativas à argamassa nos estados fresco e endurecido (Maciel. et al., 1998).

O entendimento dessas propriedades e dos fatores que influenciam a sua obtenção permite prever o comportamento do revestimento nas diferentes situações de uso. As principais

propriedades da argamassa no estado fresco, que resultam nas propriedades do estado endurecido, estão apresentadas na Figura 2.3.

**Figura 2.3 – Propriedades da argamassa nos estados fresco e endurecido**



Fonte: Maciel et al. (1998).

## **2.2.2 Propriedades das Argamassas no Estado Fresco**

### **2.2.2.1 Massa Específica e teor de água**

Massa específica é a relação entre a massa da argamassa e o seu volume, podendo ser absoluta ou relativa. Na determinação da massa específica absoluta não são considerados os vazios existentes no volume da argamassa, em contrapartida, para determinação da massa relativa e/ou massa unitária, consideram-se os vazios conforme afirma Maciel et al. (1998).

De acordo com Carasek (2007), a massa específica varia com o teor de ar (principalmente se for incorporado por meio de aditivos) e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, prioritariamente do agregado. Quanto mais leve for a argamassa, mais trabalhável será a longo prazo, reduzindo esforço em sua aplicação e resultando em maior produtividade.

Teor de ar incorporado é a quantidade de ar existente em um determinado volume de argamassa. A massa específica e o teor de ar incorporado influenciam na trabalhabilidade das argamassas (SANTOS, 2008).

### **2.2.2.2 Trabalhabilidade**

Segundo Carasek (2007), trabalhabilidade é a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas em uma condição homogênea. A trabalhabilidade é uma propriedade complexa, resultante da conjunção de diversas outras propriedades, tais como: consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial.

Alguns aspectos interferem nessa propriedade como as características dos materiais constituintes da argamassa e respectivas proporções. A presença de cal e de certos aditivos melhoram essa propriedade até um determinado limite (MACIEL,1998).

#### **2.2.2.3 Retenção de água**

Retenção de água mede a capacidade da argamassa fresca em manter a sua consistência ou trabalhabilidade quando submetida a solicitações que provocam perda de água (GOMES, 2008).

#### **2.2.2.4 Aderência Inicial**

Segundo Carasek (2007), é a capacidade de união inicial da argamassa no estado fresco a uma base. Ela está diretamente relacionada com as características reológicas da pasta aglomerante, especificamente a sua tensão superficial. A redução da tensão superficial da pasta favorece a “molhagem” do substrato, reduzindo o ângulo de contato entre as superfícies e implementação da adesão.

#### **2.2.2.5 Retração na secagem**

Segundo Maciel et al.. (1998) é a capacidade da argamassa reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação. A retenção permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativas, promovendo a adequada hidratação do cimento e conseqüente ganho de resistência.

### **2.2.3 Propriedades das Argamassas no Estado Endurecido**

#### **2.2.3.1 Aderência**

Carasek (2007) informa que a aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico devido, basicamente, à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação.

### 2.2.3.2 Capacidade de absorver deformações

É a propriedade que o revestimento apresenta quando exposto a pequenas tensões, devendo suportar as mesmas sem apresentar rupturas ou deformações que comprometam sua estrutura, aderência, estanqueidade e durabilidade (MACIEL et al., 1998).

Segundo Carasek (2007) as deformações podem ser de grande ou de pequena amplitude. O revestimento só tem a responsabilidade de absorver as deformações de pequena amplitude que ocorrem em função da ação da umidade ou da temperatura e não as de grande amplitude.

A capacidade de absorver deformações depende dos seguintes parâmetros:

- Módulo de deformação da argamassa – quanto menor for o módulo de deformação, maior a capacidade de absorver deformações;
- Espessura das camadas – espessuras maiores contribuem para melhorar a capacidade de absorção; entretanto, devem-se tomar cuidado para não se ter espessuras excessivas que poderão comprometer a aderência;
- Juntas de trabalho do revestimento – as juntas delimitam panos com dimensões menores, compatíveis com as deformações, contribuindo para a obtenção de um revestimento sem fissuras prejudiciais;
- Técnica de execução – a compressão após a aplicação da argamassa e, também, durante o acabamento superficial, iniciado no momento correto, contribuem para o não aparecimento de fissuras.

### 2.2.3.3 Resistências Mecânicas

De acordo com Carasek (2007), a resistência mecânica diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento.

E segundo Maciel et al. (1998), a resistência mecânica aumenta com a redução da proporção de agregado na argamassa e varia inversamente com a relação água/cimento da argamassa.



#### **2.2.3.4 Resistência à abrasão**

Resistência ao desgaste da superfície de uma argamassa endurecida, por ação mecânica.

#### **2.2.3.5 Durabilidade**

Segundo Giacobbe (2008), é a propriedade que avalia o desempenho do material ao longo do tempo sob ação de agentes agressivos e de diferentes processos degenerativos, e estabelece estimativas de sua vida útil, compatível com a utilização prevista. Alguns fatores prejudicam a durabilidade dos revestimentos, tais como: fissuração, espessura excessiva, cultura e proliferação de microorganismos, qualidade das argamassas e a falta de manutenção.

#### **2.2.4 Composição e dosagem das argamassas**

A Composição da argamassa diz respeito aos seus materiais constituintes. Já a dosagem é referente às proporções dos materiais, comumente denominada traço da argamassa (MACIEL, 1998).

Deve ser considerado no momento da definição da argamassa cada um dos materiais que a compõem, pois apresentam características próprias que interferem nas propriedades das argamassas e do revestimento.

### **2.3 Argamassas de Gesso**

Segundo Vanderley e Antunes (2002), o emprego de argamassas de gesso está consolidado na normalização internacional. As normas ASTM C 28-92 (ASTM, 1992) e ASTM C 842-85 (ASTM, 1990) estabelecem que as argamassas de gesso para aplicação em alvenaria deverão apresentar um traço, em volume, de aproximadamente 1:1 (gesso:agregado), independentemente se o agregado utilizado for perlita, vermiculita ou areia.

Adicionalmente, esta norma especifica uma resistência à compressão superior a 2,8 MPa (ASTM, 1992) e um tempo de pega maior que 1,5h e menor que 4h para argamassa de gesso. A norma DIN 18550 Part 2 (DIN, 1985) prevê a utilização de argamassas de gesso nos traços entre 1:1 a 1:3, gesso:agregado, em volume, bem como argamassas de gesso e cal, com as proporções entre

estes aglomerantes variando de 1:20 e 1:0,5 e os teores de agregado entre 3 e 4 (JOHN e ANTUNES, 2002).

De acordo com Gerolla (2008), a argamassa de gesso pode ser aplicada diretamente sobre a alvenaria, substituindo o sistema tradicional de chapisco, emboço e reboco. Por não ser muito resistente à umidade, ela só é utilizada em ambientes internos, mas proporciona grande economia no custo final da obra, tanto de material quanto em mão de obra. A argamassa de gesso projetada tem como principal aglomerante o gesso (sulfato de cálcio hemidratado, tipo beta, carbonato de cálcio, cal hidratada e aditivos orgânicos) é aplicada com uma bomba- misturadora.

A Tabela 2.2 mostra o comparativo de custos e consumo de material para revestimento, quando se utiliza argamassa de gesso projetada e argamassa de cimento, Observa-se que a argamassa de gesso proporciona menor custo e maior produtividade.

**Tabela 2.2 - Comparativo de custos e consumo de material para revestimento**

|                                      | Custo Mão de Obra       | Consumo de Material                  | Custo de Material                    | Total por m <sup>2</sup> | Produtividade               |
|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Argamassa de Cimento (feita na obra) | R\$9,82/ m <sup>2</sup> | 18,95kg/m <sup>2</sup> /cm espessura | R\$1,15/m <sup>2</sup> /cm espessura | R\$10,67                 | 11m <sup>2</sup> /homem/dia |
| Argamassa Industrializada            | R\$9,82/ m <sup>2</sup> | 16Kg/m <sup>2</sup> /cm espessura    | R\$3,68/m <sup>2</sup> /cm espessura | R\$13,20                 | 11m <sup>2</sup> /homem/dia |
| Argamassa de cimento projetada       | R\$8,00/ m <sup>2</sup> | 17Kg/m <sup>2</sup> /cm espessura    | R\$3,23/m <sup>2</sup> /cm espessura | R\$11,23                 | 17m <sup>2</sup> /homem/dia |
| Argamassa de gesso projetada         | R\$6,50/ m <sup>2</sup> | 10Kg/m <sup>2</sup> /cm espessura    | R\$2,90/m <sup>2</sup> /cm espessura | R\$9,50                  | 35m <sup>2</sup> /homem/dia |

Fonte: adaptado de Arga Jet Mix

## 2.4 Materiais não convencionais utilizados em argamassas

Segundo Ceotto (2005), a partir do momento em que foram adicionados cimentos Portland nas argamassas essas sofreram uma evolução, pois conseguiram ter aumento nas resistências mecânicas, e as aderências às bases onde eram aplicadas melhoraram.

Sendo assim, Ferreira (2009) verificou a influência da substituição de parte do agregado pelo resíduo de borracha sem tratamento, analisando algumas propriedades térmicas e mecânicas da argamassa de cimento Portland no traço em massa de 1:5 de argamassa cimento e areia. Obteve uma argamassa com boa resistência mecânica e térmica, com baixo custo financeiro, reduzindo o uso do agregado natural e que tivesse destino adequado para o resíduo de pneu.

Ainda segundo Ferreira (2009), argamassas com adição de borracha em substituição ao agregado podem desempenhar razoável resistência mecânica, e quando se deseja algo com baixa condutividade térmica, é bem satisfatório, apresentando bom isolamento.

Monteiro et al. (2005), incorporou PCM “Phase Change Materials” em argamassas de revestimentos interiores. Os resultados dos ensaios efetuados mostraram que a incorporação de 25 % de PCM em peso, mantém as propriedades mecânicas das argamassas em níveis aceitáveis e é benéfica do ponto de vista térmico. O emprego desse novo material de construção pode contribuir para melhorar a eficiência energética dos edifícios.

Bellucio (2010) estudou uma argamassa composta de cimento e areia, com adição de látex estireno-butadieno (SB), agregado leve (vermiculita) e fibras curtas (polipropileno, vidro e PVA), obtendo um bom comportamento do compósito referente à resistência à compressão, módulo de elasticidade e rugosidade.

#### **2.4.1 Gesso**

O gesso é um aglomerante de pega rápida, obtido pela desidratação total ou parcial da gipsita, seguido de moagem e seleção em frações granulométricas em conformidade com sua utilização. A gipsita é constituída de sulfato de cálcio mais ou menos impuro, hidratado com duas moléculas de água. As rochas são extraídas das jazidas, britadas, trituradas e queimadas em fornos. (ARAUJO et al., 2000).

A gipsita, mineral do qual se origina o gesso, é abundante na natureza e podem ser encontradas diversas jazidas no Brasil. De acordo com Sobrinho et al., (2008), o Brasil possui a maior reserva mundial de gipsita, mas representa (apresenta) apenas 1,50% da produção mundial. A maior produção no país provém dos Estados de Pernambuco (1 711 671 t, 89,00% da produção nacional), Maranhão (106 161 t, 5,50%), Ceará (68 233 t, 3,50%), Amazonas (30 000t, 1,60%) e Tocantins (7 054 t, 0,40%).

Segundo Baltar et al. (2005), o minério de gipsita do pólo gesseiro de Araripina, no Estado de Pernambuco, é considerado o de melhor qualidade do mundo, apresentando teores de pureza que variam de 90% a 95%.

O gesso é um material que apresenta propriedades muito atrativas para a produção de revestimentos, tais como endurecimento rápido, propriedades mecânicas compatíveis com os esforços atuantes, boa aderência aos substratos, ausência de retração por secagem e excelente

acabamento superficial. Além dessas vantagens, podem-se destacar as boas propriedades térmicas e acústicas, bem como resistência ao fogo (OLIVEIRA, 2009).

O gesso vem sendo cada vez mais utilizado nas construções brasileiras. Seu emprego divide-se em dois grupos básicos: para fundição e para revestimento. Gesso para fundição é o material empregado na fabricação de pré-moldados como peças para decoração, placas para forro, blocos reforçados ou não com fibras e chapas de gesso acartonado. O gesso para revestimento é empregado para revestir paredes e tetos de ambientes internos e secos (ANTUNES, 1999).

O gesso pode ser considerado um ligante menos agressivo ao ambiente que o cimento Portland, porque em seu processo de fabricação o gasto energético é menor. Com a temperatura em torno de 150°C é possível desidratar parcialmente a gipsita e obter o hemidrato, enquanto que, para o cimento Portland o clínquer é calcinado em temperaturas que chegam a 1 200°C, liberando grande quantidade de gás carbônico na atmosfera (OLIVEIRA, 2009).

A utilização do gesso como material aglomerante para o preparo de pasta ou argamassa para revestimento interno, seja ele teto ou parede, em substituição ao cimento, mostra ser de fundamental importância uma vez que esse material apresenta características tão satisfatórias quanto às do cimento. Convém ressaltar, ainda, que o Brasil pode ser considerado um país privilegiado quanto à grande disponibilidade de matéria-prima, sendo encontrada em larga escala mais especificamente na região nordeste (FERREIRA e FORTES, 2009).

Ferreira e Fortes (2009) estudaram a utilização do gesso como material aglomerante para o preparo de pasta ou argamassa projetadas, em substituição ao revestimento usual com argamassa mista de cimento e seus componentes. Tiveram como resultado dessas argamassas de gesso maior estabilidade dimensional, baixo módulo de elasticidade, boa resistência mecânica, facilidade de aplicação, “sarrafeamento” e a possibilidade de projeção mecânica.

#### **2.4.2 Composições à base de gesso**

De acordo com Oliveira (2009), pesquisas relacionadas à utilização de gesso como uma matriz base para a produção de compósitos tem sido desenvolvidas incorporando os seguintes materiais apresentados no Quadro 2.1.

**Quadro 2.1 – Materiais utilizados no estudo de compósitos à base de gesso**

|                        |                                                                                                                                       |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Materiais fibrosos     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vidro</li> <li>• Sisal</li> <li>• Celulose</li> <li>• Algodão</li> </ul>                     |
| Materiais Particulados | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Madeira</li> <li>• Cortiça</li> <li>• Vermiculita</li> <li>• Resíduos industriais</li> </ul> |

Fonte: adaptado de Oliveira (2009).

Eires et al. (2007) estudaram o desenvolvimento de novos materiais compósitos à base de gesso incorporando granulado de cortiça, um subproduto da indústria da cortiça, fibras de celulose de desperdícios de papel e fibras têxteis provenientes da reciclagem de pneus usados. Estes compósitos poderão ser utilizados na fabricação de placas ou blocos para elementos de construção não estruturais. Os novos compósitos desenvolvidos têm a particularidade de serem sustentáveis, devido aos seus componentes reciclados, e permitem obter produtos com diferentes densidades segundo o processo de fabricação utilizado, conforme as características pretendidas, relativamente ao comportamento térmico e acústico.

Kazmierczak et al. (2000) estudaram o comportamento mecânico de compósitos à base de gesso com adição de resíduos de contraforte de calçados. O teor de adição do resíduo variou de 10% a 25% mantendo-se constante a relação água/gesso de 0,57. Houve um comportamento distinto da matriz em relação aos compósitos. No ensaio de resistência à flexão observou-se que os corpos de prova sem adição resistiram a uma carga de 60 kgf e em seguida ocorreu uma ruptura brusca, sem haver deformação, enquanto que, os compósitos mesmo resistindo a uma carga menor, apresentaram deformações sem ocorrer à ruptura. O mesmo aconteceu com o teste de resistência ao impacto; os corpos de prova sem adição, obtiveram ruptura brusca com aplicação de baixa energia, já os com adição apresentaram deformação plástica considerável, tornando um material com maior ductilidade.

Verbeek e Du Plessis (2005) determinaram a influência do percentual de vermiculita na densidade e na resistência à flexão de um compósito gesso-vermiculita. Encontraram um aumento na densidade e na resistência à flexão com o aumento do percentual. Com o teor de 25% de vermiculita obtiveram a densidade de aproximadamente 450 kg/m<sup>3</sup> e 0,4 MPa de resistência à flexão, enquanto que, com 50% de vermiculita a densidade aumentou para cerca de 800 kg/m<sup>3</sup> e a resistência à flexão para 1,6 MPa.

### 2.4.3 Etileno Acetato de Vinila- EVA

O composto EVA é constituído pelos seguintes elementos: copolímero de EVA, ativadores, cargas, auxiliares de processo, agente de reticulação, agente de expansão e outros polímeros. Estes são dosados de acordo com as características que se pretende obter do composto EVA (OLIVEIRA, 2009).

Garlet (1998) cita a utilização do EVA em muitos produtos, tais como:

- Embalagens de alimentos, nos congelados, em revestimentos de papel e em tubos compressíveis;
- Vestuários: em aventais, nos revestimentos de fraldas, dentre outros;
- Medicina: nas luvas cirúrgicas e nos dosadores;
- Comunicações e na eletricidade: nos fios flexíveis e revestimentos de cabos;
- Agricultura: nos secadores, nas cobertas de estufas e nas mangueiras;
- Asfalto: para alterar as propriedades ligantes e betuminosas dos mesmos;
- Construção civil: nos painéis de forro de teto e pisos industriais;
- Usos diversos: em brinquedos flexíveis, nas flores artificiais e nos artigos esportivos.

Atualmente, a principal aplicação do EVA é na produção de placas expandidas para a obtenção de diversos elementos utilizados na confecção de calçados, como palmilhas, entressolas, solados e enchimentos, sendo que 15% a 20% desses materiais são desperdiçadas na forma de aparas (ILDEFONSO, 2007) .

Na fabricação dos calçados são gerados resíduos devido ao corte e refugos de solados, entressolas ou palmilhas além do pó obtido na operação de acabamento. No entanto existem fatores limitantes para o reaproveitamento desses resíduos como nível de reticulação, excesso de silicone e a presença de gás no material. Essas limitações técnicas fazem com que o reaproveitamento na própria indústria seja limitado (BEZERRA, 2002).

Dados estatísticos do ano de 2011 fornecidos pela ABICALÇADOS (Associação Brasileira da Indústria de Calçados) apontam o Estado da Paraíba em terceiro lugar no ranking nacional de exportações no setor em número de pares de calçados, representado 19,4% das exportações. Os dois principais exportadores são os estados do Ceará e o do Rio Grande do Sul com 44,2% e 21,8%, respectivamente.

Nos últimos anos, a geração de resíduo do setor calçadista, sobretudo os resíduos de EVA (Etileno Acetato de Vinila) tem aumentado bastante. O Estado da Paraíba apresenta-se como destaque no cenário nacional na produção de calçados. A cidade de Campina Grande é a maior

produtora nacional de sandálias sintéticas, nas quais se utilizam polímeros na sua composição, estimando-se que a produção média de resíduo polimérico seja de 200 ton/mês (OLIVEIRA, 2009).

Portanto, esse excedente gerado pela indústria torna-se um problema na hora de se dar um destino final, pois se trata de um material não biodegradável que não deve ser disposto em aterros sanitários porque pode causar sérios problemas ao meio ambiente. A incineração desses resíduos também não é recomendada devido à liberação de gases tóxicos (BEZERRA, 2002).

Segundo Pimentel (2005), os resíduos de EVA das sobras das placas expandidas que surgem do processo de corte na fabricação do calçado são os de maior volume e o mecanismo de reaproveitamento exige alguns cuidados especiais, tais como: não usar recuperado de diferentes níveis de reticulação, pois irá gerar oscilação de qualidade nas placas expandidas; evitar retalhos que tenham excesso de silicone; eliminar todo gás existente no material a ser recuperado.

Várias empresas da indústria de calçados estão negociando seus resíduos, com as indústrias de cimento, na tentativa de livrar-se de seus passivos ambientais, por intermédio do co-processamento. As cimenteiras aproveitam o potencial combustível deste resíduo para alimentar os fornos rotativos na fabricação do clínquer, mesmo com a grande produção de gases tóxicos.

Uma aplicação dos resíduos de EVA é como agregado, tanto para a produção de argamassas, elementos isolantes térmicos, quanto concreto. O agregado tem uma função econômica da máxima importância, pois geralmente é o elemento de custo mais baixo por unidade de volume no concreto. Atua de maneira decisiva no incremento de certas propriedades, tais como, a redução da retração e o aumento da resistência ao desgaste (MACAMBIRA, 2001).

De acordo com Pimentel (2005), o EVA é um produto que possui características físico-químicas diferenciadas dos demais elementos utilizados na construção civil, e ele, como resíduo na formação de um novo produto, pode apresentar algumas vantagens:

- Bom isolamento acústico, eliminando os ruídos dos ambientes;
- Bom isolamento térmico, obtendo-se um maior conforto, reduzindo com isso o consumo de energia;
- Baixa densidade, reduzindo dessa forma a necessidade de usarem-se estruturas de grandes secções de concreto, facilitando o manuseio das mesmas, principalmente para o caso das peças pré-fabricadas;
- Boa mistura homogênea com um consumo de cimento, semelhante ou até um pouco menor, em alguns casos, comparado aos concretos convencionais;
- Boa resistência à compressão simples;

- Boa ductilidade, quando submetida a cargas, evitando-se assim uma ruptura brusca e descontrolada, como acontece com alguns elementos semelhantes;
- Menor custo devido às condições de se produzir elementos estruturais bem maiores, que melhoram a produtividade dos serviços;
- Menor custo devido à redução de carga nas estruturas.

Garlet (1998) utilizou resíduos da indústria de calçados do Vale dos Sinos no Rio Grande do Sul como agregado em concreto e verificou que o material apresenta grande potencial de aplicação para o isolamento térmico e a produção dos chamados piso flutuante que podem atenuar os ruídos transmitidos em lajes entre os pavimentos de edifícios.

Bezerra (2002) desenvolveu blocos vazados de concreto para alvenaria sem finalidade estrutural, utilizando EVA como substituição do agregado graúdo nos níveis de 40% a 100%. Com teor ótimo de agregado de 60% e 70% obteve resultados de resistência à compressão de 1,6 MPa e 2,4 MPa, respectivamente, viabilizando tecnicamente a produção de componentes construtivos alternativos.

Leal (2004) obteve, em experimentos com placas, massa específica de  $930 \text{ kg/m}^3$ , resistência à compressão de 1,2 MPa, módulo de ruptura à flexão de 0,7 MPa para compósitos leves à base de cimento Portland e agregado sintético de resíduo EVA, o que garante sua utilização como painéis, forros, testeiças e beirais.

Santos (2005), em pesquisa utilizando resíduos de EVA granulado, aglomerado com cimento, confeccionou placas de 4 cm de espessura, utilizando traço 1:5, com baixa energia de prensagem. Chegou à conclusão que este material mostra potencial para utilização como revestimento acústico.

Pimentel (2005) projetou blocos de vedação utilizando o EVA em teores de 60% a 80% em substituição dos agregados naturais na composição cimento: agregado. Obteve resistência à compressão média de 0,82 MPa com 80% de substituição dos agregados.

Soares Filho et al., (2005) estudaram o aproveitamento de resíduo de EVA em blocos leves de vedação para o uso na construção civil, nos quais incorporou os agregados leves à mistura em uma faixa entre 60% e 80% em relação ao volume total de agregados. Os resultados alcançados na resistência à compressão aos 28 dias variaram de 1,3 MPa a 3,3 MPa conforme o teor de EVA presente na mistura.



#### 2.4.4 Vermiculita

A vermiculita é um argilomineral derivado de alterações de micas, que possui a peculiaridade de expandir quando submetida a altas temperaturas, e é dessa característica que decorre seu valor industrial (REIS, 2001).

Quando aquecida na faixa de 800 a 1000°C, expande-se aumentando seu volume em até 20 vezes, devido à vaporização das moléculas de água que se encontram entre as camadas. Esse fenômeno é chamado de esfoliação e faz com que a vermiculita expandida tenha baixa densidade (entre 0,15 e 0,25g/cm<sup>3</sup>), área de superfície específica entre 6,0 e 8,0 m<sup>2</sup>/g (granulação superfina) e capacidade de troca catiônica elevadas (100 a 130 meq/100g) (UGARTE e MONTE, 2005).

Além das propriedades descritas acima, segundo Catai et al., (2006), a vermiculita apresenta características peculiares; é um material não abrasivo, inodoro, de pH neutro, inerte, não se decompõe, e, quando expandida, tem propriedades de isolantes térmicos e acústicos.

A vermiculita é comercializada na forma expandida e seu uso depende da sua granulométrica, sendo utilizada em diversos setores industriais: na agricultura e horticultura, na construção civil, na fabricação de embalagens de produtos industrializados entre outros (PERALTA, 2009).

Segundo Oliveira et al., (2004), a vermiculita dentro da construção civil pode ser aplicada para: enchimento de pisos, isolamento termo-acústico em divisórias, forros, lajes e paredes, corta fogo, câmaras a prova de som, câmaras a prova de fogo, rebocos isolantes. E ainda, de acordo com Bellucio (2010) a vermiculita promove um significativo aumento na capacidade de deformação da argamassa no estado endurecido.

A produção mundial em 2007, como mostra a Tabela 2.3, foi estimada em 520mil toneladas fornecida em grande escala pela África do Sul, com aproximadamente 39% da produção mundial de vermiculita, a China e os Estados Unidos ocupam o segundo e terceiro lugar com 21 e 19%, respectivamente. O Brasil e a Rússia se encontram juntos no quarto lugar com 5% da produção mundial.

**Tabela 2.3 - Principais Produtores de Vermiculita no mundo**

| Pais           | Produção<br>(mil/ano)(2007) | Porcentagem(%) |
|----------------|-----------------------------|----------------|
| Estados Unidos | 100                         | 19             |
| Brasil         | 25                          | 5              |
| China          | 110                         | 21             |
| Rússia         | 25                          | 5              |
| África do Sul  | 200                         | 39             |
| Zimbabwe       | 13                          | 2              |
| Outros Países  | 47                          | 9              |
| Total Mundial  | 520                         | 100            |

Fonte: Adaptado de Potter (2008)

No Brasil há depósitos de jazidas de vermiculita nos Estados da Paraíba (Santa Luzia), Goiás (Sancrelândia, Ouvidor e Montes Belos), Piauí (Queimada Nova) e Bahia (Brumado). Praticamente, toda a produção nacional está concentrada no Estado de Goiás e Piauí com 91% da produção nacional (CAVALCANTI, 2008).

Os minérios brasileiros não contêm asbestos, o que confere aos concentrados de vermiculita maior valor agregado, além de favorecer melhor aproveitamento econômico do bem mineral (REIS, 2002).

## **2.5 Conforto Térmico**

A ASHRAE-55 (2004) define conforto térmico como um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Coutinho (2005), afirma que a sensação de conforto térmico é função das trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente, sem que para isso seja exigido grande esforço do corpo, evitando, assim, a fadiga ou estresse do mesmo.

As principais características do ambiente interno que devem ser consideradas nas avaliações de conforto térmico das edificações são: período de ocupação, número de ocupantes, atividades típicas desenvolvidas pelos ocupantes, equipamentos utilizados e caracterização dos materiais utilizados na construção da edificação (NOGUEIRA e NOGUEIRA, 2003; SANTOS, 2002).

Além das características internas do ambiente, o desempenho térmico de uma edificação também está diretamente ligado às características climáticas, às quais está submetido. Para Nogueira e Nogueira (2003) e Santos (2002), o conhecimento do clima e da geografia local é fundamental no desenvolvimento de um bom projeto de edificação, utilizando para isso os recursos naturais disponíveis. Entretanto, mesmo após sua construção, conhecer estas características auxilia no momento de propor soluções para melhorar as características da edificação.

Durante um dia, dependendo da região, há uma grande amplitude térmica, devido às altas temperaturas alcançadas durante o dia e às baixas temperaturas da noite. Edificações com envoltórias (paredes e coberturas) de grandes espessuras proporcionam uma grande inércia térmica, ou seja, elas retêm a carga térmica diurna, proveniente do aquecimento solar, proporcionando uma redução no aquecimento interno dos edifícios; e no período da noite, no qual a temperatura externa é baixa, as paredes e coberturas cedem o calor retido durante o dia para o ambiente (interno e externo à edificação), moderando o frio noturno (ADAM, 2009; SANTOS, 2002).

## 2.6 Comportamento Térmico

Para estudar o comportamento térmico de um ambiente é necessário conhecer a sua carga térmica. Carga térmica é a quantidade de calor que deve ser retirada ou colocada num ambiente a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas. E calor é energia térmica transmitida em virtude de uma diferença de temperatura entre duas regiões de um corpo ou entre corpos diferentes (ÇENGEL, 2007).

Segundo Creder (2004), os ganhos de calor, que constituem a carga térmica, são, geralmente, devidos aos seguintes processos:

- Condução
- Convecção
- Radiação solar
- Iluminação;
- Pessoas;
- Equipamentos;
- Infiltração.

### 2.6.1. Mecanismos de transmissão de calor

Como já foi dito, os processos de transmissão de calor ocorrem em entre sistemas que tenham temperaturas diferentes. Se dois sistemas com temperaturas diferentes estiverem próximos, o processo continua: o corpo mais quente perdendo calor e diminuindo a temperatura; e o mais frio recebendo calor e elevando a temperatura, até que as temperaturas se igualem, alcançando o equilíbrio térmico. Os três mecanismos de transporte de calor são: convecção, radiação e condução (ÇENGEL, 2007).

#### 2.6.1.1 Convecção

A convecção térmica é um processo de transmissão de calor entre um fluido e um corpo sólido em que as moléculas se deslocam daquele com maior temperatura para o outro com temperatura mais baixa (COUTINHO, 2005).

Çengel (2007) diz que a convecção é classificada como natural e forçada, dependendo de como se inicia o movimento do fluido. Definem-se elas como:

- Convecção forçada: o fluido é forçado a fluir através sobre superfície, podendo ser por meio de um ventilador ou mesmo do vento; ou em um tubo, por meios mecânicos tais como bomba ou ventilador.
- Convecção natural: qualquer movimento do fluido é causado por variação de densidade.

A convecção é também classificada como externa e interna, dependendo se o fluido é forçado a fluir através de uma superfície ou em um canal.

Segundo Çengel e Boles (2006), a taxa de transferência de calor por convecção é determinada a partir da equação 1:

$$Q_{\text{conv}} = h_c A(t_s - t_a) \quad (1)$$

Onde:

$h_c$  = coeficiente de transmissão de calor por convecção ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

$A$  = Área da superfície de transferência de calor ( $\text{m}^2$ )

$t_s$  = temperatura da superfície ( $\text{°C}$ )

$t_a$  = temperatura do ar ( $\text{°C}$ )

A julgar pelas suas unidades, o coeficiente de transmissão de calor por convecção pode ser definido como a taxa de transferência de calor entre uma superfície sólida e um fluido por unidade de superfície do sólido por unidade de diferença de temperatura (ÇENGEL, 2007).

De acordo com Coutinho (2005), o coeficiente de convecção depende da geometria, rugosidade e posição da superfície sólida, das propriedades termofísicas e, principalmente, da velocidade do fluido.

**Tabela 2.4 - Valores típicos do coeficiente de transmissão de calor por convecção**

| Tipo de convecção              | $h$ ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ ) |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Convecção natural dos gases    | 2-25                            |
| Convecção natural dos líquidos | 10-1000                         |
| Convecção forçada dos gases    | 25-250                          |
| Convecção forçada dos líquidos | 50-20000                        |

Fonte: Çengel (2007).

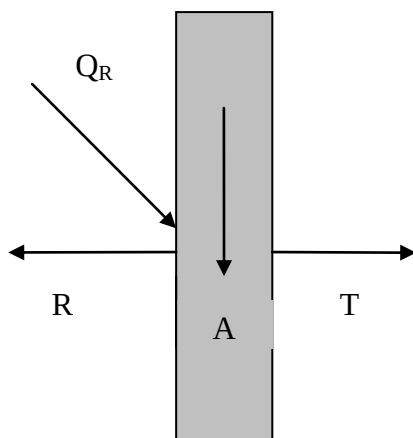
### 2.6.1.2. Radiação

A transmissão de calor por radiação ocorre quando dois corpos com temperaturas diferentes estão separados pelo ar ou por outro meio transparente.

A radiação não necessita de um meio material para ser transmitida. Ao contrário, ela se propaga mais facilmente no vácuo, porém é transparente a alguns gases e vidros. Somente a energia é transmitida, nenhum material é necessário para que ela ocorra. A energia emitida por uma superfície se distribui uniformemente em diversas direções. Conseqüentemente, as trocas de calor variam com a distância e a posição de uma superfície em relação à outra (ÇENGEL, 2007).

Segundo Coutinho (2005), nem toda energia radiante que chega a superfície de um corpo é absorvida. Geralmente parte da energia total que atinge o corpo ( $Q_R$ ) é refletida (R), parte é absorvida (A) e outra parte é transmitida através do corpo (T), como visto na Figura 2.4.

**Figura 2.4 – Balanço da energia radiante sobre um corpo sólido**



Fonte: Coutinho (2005).

Este balanço mostrado na Figura 2.3, pode ser representado pela equação 2

$$Q_R = A + R + T \quad (2)$$

Dividindo-se a equação (2) por  $Q_R$  têm-se os parâmetros radiantes das superfícies.

$$\frac{Q_R}{Q_R} = \frac{A}{Q_R} + \frac{R}{Q_R} + \frac{T}{Q_R} \quad \text{ou} \quad 1 = \alpha + \delta + \tau \quad (3)$$

Onde:

$\alpha$  - absorptividade;

$\delta$  - refletividade;

$\tau$  - transmissividade.

A absorptividade é a única parcela da radiação térmica responsável pelo aquecimento de um corpo, aumentando-lhe, assim, a capacidade de também emitir radiação. Geralmente a absorptividade é igual à emissividade ( $\varepsilon$ ) (COUTINHO, 2005).

$$\alpha = \varepsilon \quad (4)$$

Quando não há transmissão de calor, o corpo é denominado atérmico, ou seja, opaco ao calor, nesse caso tem - se:

$$\alpha + \delta = 1 \quad (5)$$

Esta equação 5 mostra que os corpos opacos com grande refletividade têm baixas absorptividade e emissividade, e vice-versa.

### 2.6.1.3. Condução

A condução de calor através de uma substância pode ser assumida como transferência de energia de partículas de maior nível energético para partículas com nível energético inferior (COUTINHO, 2005).

Em função da estrutura molecular, cada material possui sua capacidade particular de transmitir calor. A condução ocorre predominantemente através de corpos sólidos, podendo também ocorrer através de fluidos, no entanto nestes não devem ocorrer fenômenos convectivos.

Para a análise da transferência de calor por condução é utilizado a equação 6, chamada lei de Fourier, que se baseia em observações experimentais.

$$Q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (6)$$

Onde:

K= Condutividade Térmica (W/m°C)

A= Área da superfície transversal ao fluxo de calor (m<sup>2</sup>)

$$\frac{dT}{dx} = \text{gradiente de temperatura (}^{\circ}\text{C/m}^2\text{)}$$

A equação 6 mostra que a quantidade de calor transferido por condução é proporcional à área da seção transversal ao fluxo térmico e ao gradiente de temperatura. E o sinal negativo é utilizado para indicar que o calor flui no sentido da temperatura decrescente.

### 2.6.2 Condutividade Térmica

Segundo Coutinho (2005), condutividade térmica é a capacidade do material de permitir a condução de calor. Suas unidades são W/m°C e kcal/hm°C.

A condutividade térmica é a propriedade de transporte que está diretamente ligada à taxa de transferência de energia térmica por difusão através de um meio material (INCROPERA e DE WITT, 2008).

A condutividade térmica é a propriedade que determina os níveis de temperatura de trabalho de um material, e é um importante parâmetro em problemas envolvendo transferência de calor (SANTOS et al., 2004).

Çengel (2007), afirma que a condutividade térmica de um material varia com a temperatura. No entanto, essa variação é leve para muitos materiais na escala de interesse prático e pode ser desconsiderada. Em tais casos, pode-se usar um valor médio para a condutividade térmica e tratar como uma constante. Esta é também uma prática comum para outras propriedades dependentes da temperatura, tais como a densidade e o calor específico.

A condutividade térmica é alta em materiais metálicos, porque apresentam maior vibração molecular, transmitindo melhor o calor, sendo considerados condutores térmicos. Os materiais orgânicos e fibrosos têm grande dificuldade de transmitir calor, possuindo baixa condutividade térmica, sendo conhecidos como isolantes térmicos (COUTINHO, 2005).

A condutividade térmica assume um papel crítico no desempenho de materiais em muitas aplicações. Baixos valores de condutividade térmica são exigidos, quando se pretende minimizar as perdas ou ganho de calor. Por outro lado, a transferência de calor de uma parte para outra é obtida mais facilmente usando materiais de condutividade térmica mais alta. Assim sendo, dados confiáveis de condutividade térmica são essenciais na seleção de um material, para que o mesmo possa ter o melhor desempenho possível em uma dada aplicação (MUMMERY et al., 2004).

A condutividade térmica de um material de revestimento é um importante indicador para avaliação da sua capacidade térmica e de seu emprego no ambiente construído, possibilitando, entre

outras vantagens, a economia energética de equipamentos condicionadores de ar. Para que um produto seja aceito no mercado da construção civil, é necessário que tenha propriedades que contribuam efetivamente como elemento construtivo no conjunto que define o conforto térmico das edificações (OLIVEIRA, 2009).

Akatsu e Sato (1988 apud STANCATO, 2000) afirmam que a condutividade térmica dos materiais está na razão inversa em relação à quantidade de ar presente no material e na razão direta em relação à massa específica aparente. A condutividade aumenta em função do teor de umidade contida nos materiais, uma vez que a água tem capacidade de isolamento inferior ao do ar e substitui parte do volume gasoso contido nos poros. Os valores de condutividade são delimitados pela microestrutura do agregado.

A condutividade térmica da grande maioria dos materiais de construção, pode ser encontrada nos livros e manuais sobre transmissão de calor. A Tabela 2.5 apresenta alguns valores de condutividade térmica de materiais de construções de uso comum.

**Tabela 2.5 - Condutividade de Materiais de Construção**

| MATERIAIS                               | Condutividade térmica<br>(W/m°C) |
|-----------------------------------------|----------------------------------|
| Argamassa de cimento                    | 0,72                             |
| Tijolo comum                            | 0,72                             |
| Reboco de cimento e areia               | 0,72                             |
| Reboco de gesso branco e areia          | 0,22                             |
| Reboco de gesso branco e vermiculita    | 0,25                             |
| Placas de cimento-amianto               | 0,58                             |
| Placas de gesso                         | 0,35                             |
| Madeira de lei(carvalho.borbo)          | 0,16                             |
| Fibra de vidro,despejada ou soprada     | 0,043                            |
| Vermiculita,flocos                      | 0,068                            |
| Poliestireno,expandido: extrudado(R-12) | 0,027                            |
| Borracha,vulcanizada macia              | 0,13                             |
| Borracha,vulcanizada dura               | 0,16                             |
| Concreto(com brita)                     | 1,4                              |
| Alumínio Puro                           | 206                              |
| Ferro                                   | 80                               |
| Aço (1% de carbono)                     | 43                               |
| Teflon(PTFE)                            | 0,25                             |
| Poliestireno expandido                  | 1,15                             |
| Lã de vidro 50mm                        | 0,045                            |
| Concreto armado                         | 1,75                             |
| Vidro comum                             | 0,78                             |
| Vermiculite                             | 0,068                            |

Fonte: Adaptado de diversos autores



Porém, os materiais não convencionais, ou seja, resultantes da mistura dos materiais de construção convencionais com isolantes térmicos, não são catalogados. A sua condutividade depende da concentração de ambos na mistura, da qual deve resultar uma condutividade intermediária. Essa condutividade deve ser obtida em testes de laboratório com um número estatisticamente representativo, haja vista não poder-se garantir homogeneidade e concentrações absolutamente constantes dos componentes (OLIVEIRA, 2009).

### 2.6.3 Métodos para medir condutividade térmica

De acordo com o regime de transferência de calor utilizado na caracterização térmica dos materiais, os métodos experimentais podem ser classificados em dois grandes grupos:

- Métodos em regime permanente
- Métodos em regime transiente

#### 2.6.3.1 Métodos em regime permanente

Nestes métodos o tempo não intervém, isto é, a temperatura não varia com o tempo e eles permitem medir apenas a condutividade térmica em um regime estacionário de calor. O modelo e o método são fundamentados na transferência unidimensional em regime permanente, em que, o comportamento do fluxo de calor ( $Q$ ) depende da diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) e da resistência térmica ( $R$ ) do material de acordo com a Equação (7).

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R} = \frac{\Delta T}{R} \quad (7)$$

Onde:

$Q$  = fluxo de calor ( $W/m^2$ );

$T_1$  = Temperatura no ponto 1 ( $^{\circ}C$ )

$T_2$  = Temperatura no ponto 2 ( $^{\circ}C$ )

$\Delta T$  = diferença de temperatura ( $^{\circ}C$ )

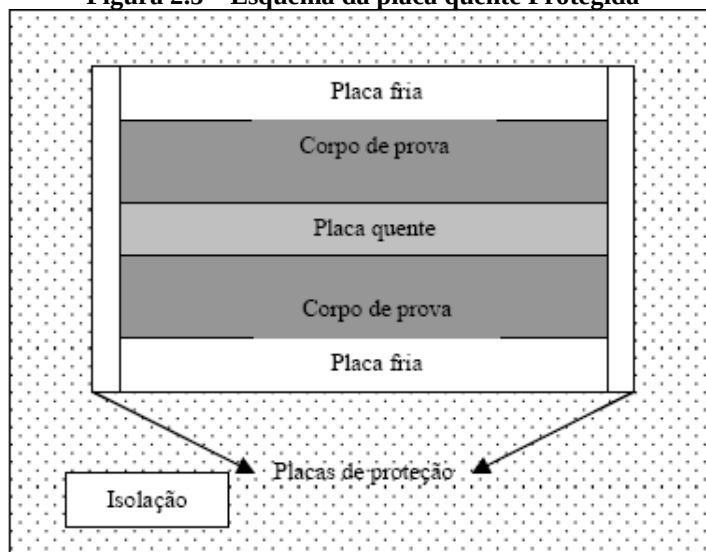
$R$  = resistência térmica ( $m^2^{\circ}C/W$ )

##### 2.6.3.1.1 Método da placa quente protegida

O método da placa quente protegida é utilizado para determinar a condutividade térmica de amostras planas de materiais homogêneos. De modo geral, este método é usado para ensaiar amostras de materiais isolantes ou com condutividade térmica baixa (SIMIONI, 2005).

O equipamento é constituído de uma placa quente na qual ficam instaladas, simetricamente, duas amostras de espessuras conhecidas e junta as mesmas, as placas frias (Figura 2.5). As amostras são submetidas a um fluxo de calor proveniente da placa quente que, ao atingir o regime permanente determina a diferença de temperatura.

**Figura 2.5 – Esquema da placa quente Protegida**



Fonte: Oliveira (2009)

A condutividade térmica é calculada, através da Equação (8). Para isso, mede-se o fluxo de calor liberado pela placa quente. Quando se estabelece o regime permanente, têm-se uma diferença de temperatura constante  $\Delta T$  entre ambas as faces dos corpos de prova, cujas espessuras são iguais a  $L$ .

$$k = \frac{q_d L}{2A\Delta T} \quad (8)$$

Onde:

$k$  = condutividade térmica (W/m°C)

$q_d$  = potência dissipada pela placa quente (W)

$L$  = espessura das amostras (m)

$A$  = área da geração de fluxo de calor (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = diferença das temperaturas entre as faces opostas das amostras (°C)

### 2.6.3.1.2 Método fluximétrico

O método do fluxímetro é um método secundário para medição de condutividade térmica, onde o regime permanente é atingido mais rapidamente que no caso da placa quente protegida. Secundário porque os fluxímetros devem ser periodicamente calibrados. Normalmente, a calibração destes dispositivos se dá pela submissão dos mesmos a um fluxo de calor conhecido (SIMIONI, 2005).

Esse método é aplicado a materiais manufaturados e isolantes térmicos de edificações e permite também determinar propriedades de resistência e transmitância térmica desses materiais (OLIVEIRA, 2009).

De acordo com Güths (1990), este método tem operação mais simplificada que o da placa quente protegida e o equipamento é mais simples. Moura (1993 apud SIMIONI, 2005) afirma que em ensaios com a placa quente protegida, o tempo para se atingir regime permanente é de aproximadamente 25 a 30 horas, ao passo que no método fluximétrico o regime permanente é atingido em aproximadamente duas horas.

O princípio do método baseia-se na medição da resistência térmica com a aplicação de uma densidade de fluxo de calor, constante e unidirecional, a partir de superfícies isotérmicas, mantidas a variação de temperaturas constantes e diferentes uma da outra, através da zona central de medição de um fluxímetro e da zona central de uma amostra em forma de placa. Sendo o cálculo da resistência térmica (R) dado pela equação (9).

$$R = \frac{\Delta T}{Q} \quad (9)$$

Onde:

R = resistência térmica ( $\text{m}^2\text{C}/\text{W}$ );

$\Delta T$  = diferença de temperatura entre as faces da amostra ( $^{\circ}\text{C}$ );

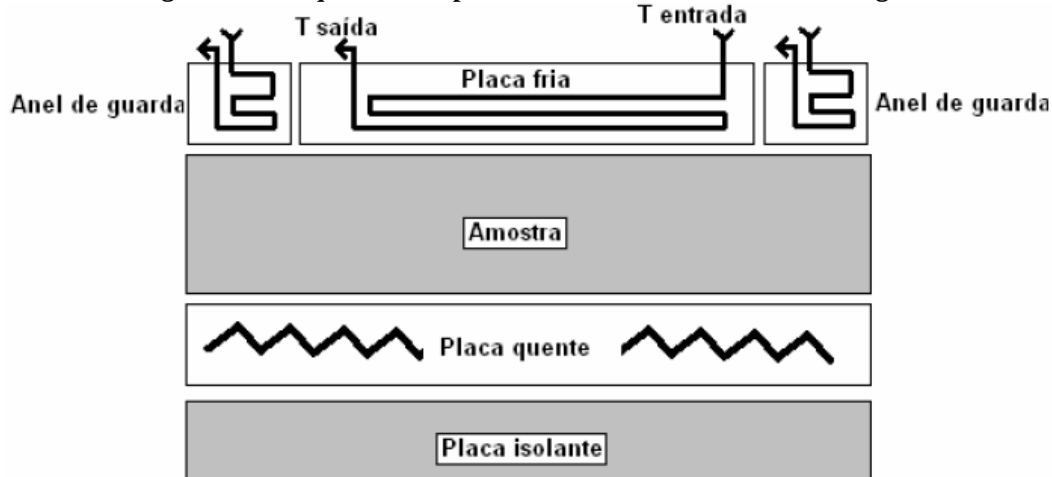
Q = fluxo de calor ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

A condutividade térmica (k) é calculada em função da espessura da amostra (L) e da resistência térmica (R) que é obtida a partir da densidade de fluxo de calor, de acordo com a Equação (10):



fria. Através da capacidade térmica por unidade de volume, calcula-se o fluxo de calor através das amostras.

**Figura 2.7 – Esquema do experimento do método calorímetro a água**



Fonte: Simioni (2005).

### 2.6.3.2 Métodos em regime transiente

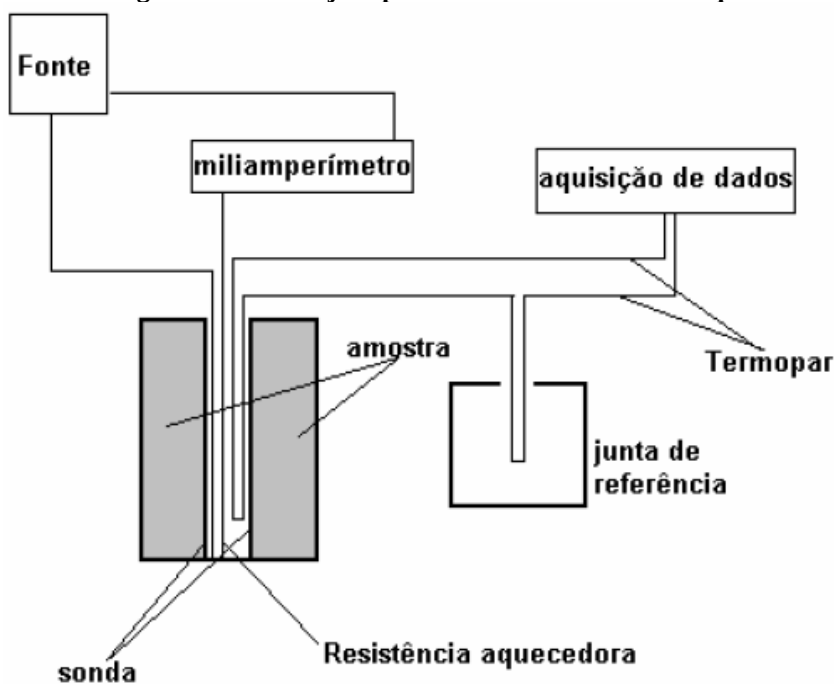
Nestes métodos as medidas de temperatura são efetuadas em função do tempo, identificando-se, além da condutividade térmica, a difusividade térmica do material.

#### 2.6.3.2.1 Método do fio quente

A princípio, este método foi desenvolvido para determinar condutividade térmica de líquidos, depois se estendeu aos sólidos isolantes e aos casos de medições em altas temperaturas. É considerada uma técnica precisa na determinação da condutividade térmica de materiais cerâmicos e possui limitações para materiais metálicos, uma vez que o tempo máximo de medida é inversamente proporcional à condutividade térmica, o que pode comprometer a confiabilidade do resultado (OLIVEIRA, 2009).

Segundo Philippi et al., (1988 apud SIMIONI, 2005), Utiliza-se uma sonda cilíndrica, que é inserida no meio para o qual se deseja medir a condutividade térmica; calor é dissipado numa resistência elétrica que está inserida no interior da sonda e então mede-se a evolução da temperatura com o tempo através de um termopar. O esquema do experimento é mostrado na Figura 2.8.

**Figura 2.8 – Arranjo experimental do método do fio quente**



Fonte: Simioni (2005).

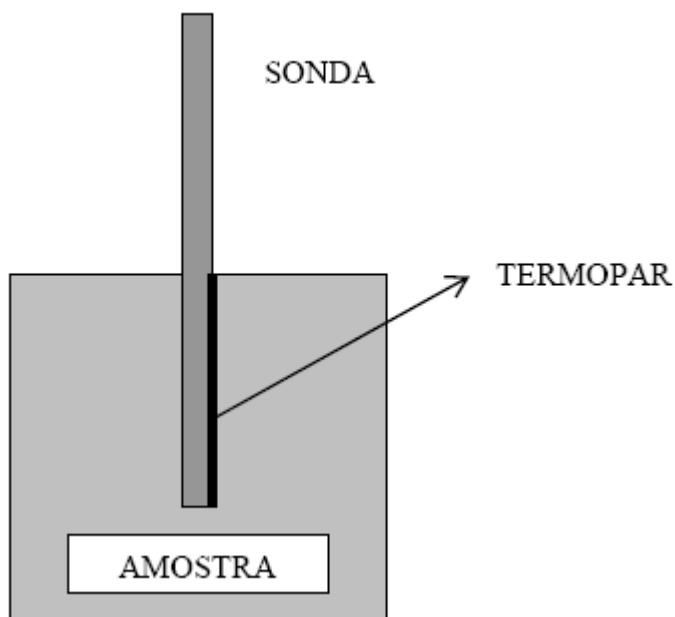
Ao passar uma corrente elétrica constante através de um fio metálico preso entre dois blocos do material a medir, uma quantidade de calor por unidade de tempo e de comprimento é liberada e se propaga através do material. Faz-se um registro da variação de temperatura do fio através de um termopar soldado a ele ou diretamente por medida da resistência térmica do mesmo.

O aumento da temperatura em um ponto junto ao fio está relacionado com a potência dissipada e com a condutividade térmica do corpo de prova, permitindo o cálculo do coeficiente de condutividade térmica.

#### **2.6.3.2 Sondas térmicas**

É uma técnica desenvolvida para os meios porosos e a sonda se apresenta na forma cilíndrica ou esférica. No caso da sonda cilíndrica o modelo é idêntico ao do fio quente, enquanto que, na esférica a impedância difere consideravelmente. A temperatura é medida pela variação de resistência do elemento aquecedor. A sonda tem função de dissipar calor e medir a temperatura no interior da amostra, atuando como um termômetro de resistência, possibilitando a instalação de termopares no corpo da sonda, como pode ser visto na Figura 2.9 (OLIVEIRA, 2009).

**Figura 2.9 – Representação esquemática de uma sonda térmica**



Fonte: Oliveira (2009).

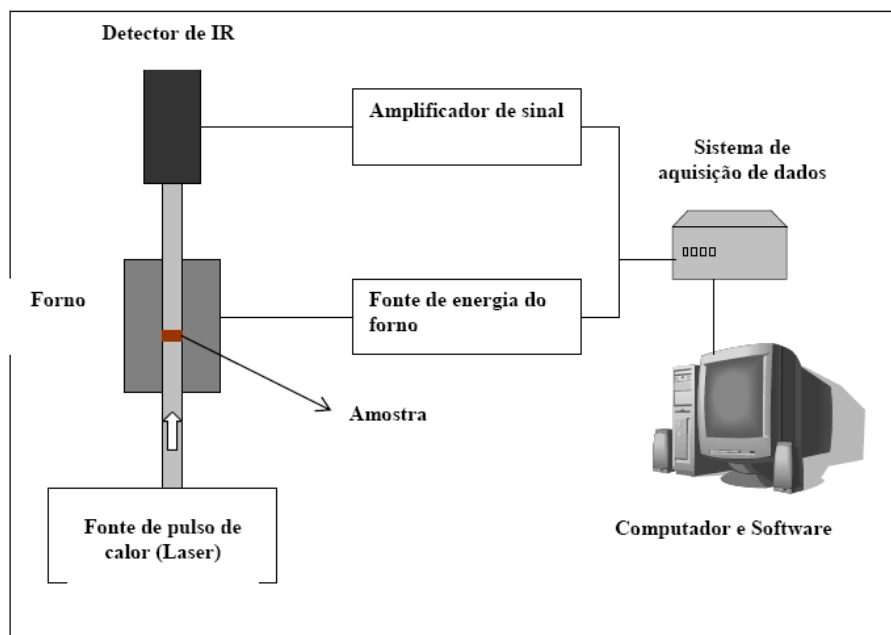
#### **2.6.3.2.3 Método *flash***

O método Flash, proposto por Parker, Butler, Jenkins e Abbott em 1961, é o método mais popular para a medição de propriedades termofísicas em sólidos (MASSARD, 2004).

Inicialmente, o método era usado para amostras opacas e homogêneas, contudo, o campo de aplicação tem-se ampliado e aplicado a outros materiais tais como: meios anisotrópicos, meios transparentes, materiais compósitos, amostras de camadas múltiplas, líquidos, entre outros (OLIVEIRA, 2009).

O princípio do método consiste em aplicar na face frontal de uma amostra, pequena e fina em forma de disco, um pulso de energia radiante e de curta duração, geralmente lançado por um laser, uma lâmpada flash ou um feixe de elétrons, registrando-se o aumento da temperatura na face posterior. A Figura 2.9 apresenta o esquema de aplicação do método.

**Figura 2.9 – Esquema do procedimento experimental pelo método flash**



Fonte: Oliveira (2009).

Neste método, a condutividade térmica é calculada indiretamente após a determinação da difusividade e do calor específico; é também necessário conhecer-se a massa específica do material.

#### 2.6.4 Carga Térmica

A carga térmica de um edifício é a taxa na qual calor tem de ser retirado para que se mantenha a temperatura e a umidade relativa interna constante dentro de parâmetros aceitáveis para uma dada aplicação em dias críticos de projeto. É importante para a carga térmica de um edifício a localização e orientação geográfica, as características termofísicas dos materiais utilizados na construção entre outros fatores (KARASHIMA, 2006).

O cálculo da carga térmica se baseia nos princípios da transmissão de calor. Esses princípios são complementados por normas como a brasileira NBR 6401/1980, intitulada Instalações centrais de ar-condicionado para conforto – Parâmetros para projeto, recomendada pela Resolução n 176/2000 da ANVISA.

Segundo Creder (2004), a equação (11), permite o cálculo da carga térmica da envoltória, levando em consideração os três mecanismos de transmissão de calor (convecção, condução e radiação).



$$Q = AU[(t_e - t_i) + \Delta t] \quad (11)$$

Onde:

Q = Carga Térmica (W)

A = área (m<sup>2</sup>)

U = coeficiente global de transmissão de calor (W/m<sup>2</sup>°C)

t<sub>e</sub> = temperatura do exterior (°C)

t<sub>i</sub> = temperatura do interior (°C)

Δt = acréscimo à diferença entre as temperaturas do ar externo e interno, devido à absorção de radiação solar, em função da cor e do acabamento superficial (°C).

A Tabela 2.6, mostra os valores do Δt de acordo com a orientação da superfície e da cor.

| <b>Tabela 2.6 - Acréscimo ao diferencial de temperatura -Δt em °C</b> |                   |                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| <b>Superfície</b>                                                     | <b>Cor escura</b> | <b>Cor média</b> | <b>Cor clara</b> |
| Telhado                                                               | 25,0              | 16,6             | 8,3              |
| Parede leste/oeste                                                    | 16,6              | 11,1             | 5,5              |
| Parede norte                                                          | 8,3               | 5,5              | 2,7              |
| Parede sul                                                            | 0                 | 0                | 0                |

Fonte: Creder (2004).

Convém informar que os cálculos mais exatos de carga térmica exigem dados climáticos obtidos durante um ciclo estatisticamente representativo. A Norma NBR 6401/1980, informa os dados referentes às principais cidades das regiões climáticas do país. Quando o local considerado não se encontra nessa norma, podem-se adotar planilhas ou adotar valores de regiões próximas e de clima semelhante. Disso pode resultar uma carga superdimensionada, porém com temperatura interna mantida no nível desejado, através de controles manuais ou automáticos.

#### 4.6.5 Coeficiente global de transferência térmica (U)

O coeficiente global de transmissão de calor envolve os processos de convecção e condução, conforme a equação (12) referente a uma parede ou telhado simples, ou seja, sem reboco ou isolamento térmico.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hc_1} + \frac{\Delta x}{k_p} + \frac{1}{hc_2}} \quad (12)$$

Onde:

$U$  = Coeficiente global de transmissão de calor ( $W/m^2\text{°C}$ );

$hc_1$  = Coeficiente de convecção do ar interno ( $W/m^2\text{°C}$ );

$hc_2$  = Coeficiente de convecção do ar externo ( $W/m^2\text{°C}$ );

$\Delta x$  = Espessura da parede ou teto (m);

$k$  = Coeficiente de condutividade térmica do material ( $W/m\text{°C}$ ).

Quando se adiciona uma ou mais camadas de material à superfície original, o coeficiente global passa a ser como a equação (13):

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hc_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta x_i}{k_i} + \frac{1}{hc_2}} \quad (13)$$

Sendo o termo central do denominador o somatório da relação entre as espessuras dos componentes da estrutura considerada e respectivas condutividades térmicas.

## 2.7 Comportamento Físico e Mecânico

De acordo com Gomes (2008), O comportamento dos materiais com relação ao tipo de deformação e tensão que terá, depende de suas características e propriedades físicas e mecânicas.

### 2.7.1 Consistência

A relação água/gesso conhecida como consistência, é a mais básica das informações para se prever o comportamento do material. Influencia diretamente a absorção, dureza, porosidade, tempo de expansão, e outras características físicas.

A consistência é resultante das ações de forças internas, como coesão e ângulo de atrito interno e viscosidade, que condicionam a mudança de forma da mistura. Desta forma, o teor de água, a forma e a textura dos grãos dos agregados, assim como a granulométrica afetam a consistência (GOMES, 2008).

Segundo Barbosa (2011), a consistência é a propriedades pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas. E existem alguns aspectos que exercem influência nesta, sendo eles:

- Distribuição granulométrica (tamanho das partículas) – alterações de agregados finos para médios e médio-grossos levam não só a comportamentos reológicos diferentes como exigem dosagens dos materiais diferenciadas;
- Parâmetros de textura e de forma dos agregados – influem na coesão, atrito interno e na condição de fluxo entre as partículas;
- Teor de aglomerantes finos – partículas finas (menores que 75  $\mu\text{m}$ ), em face à natureza dos materiais e sua distribuição granulométrica, demandam quantidades específicas de água para atender à consistência desejada;
- Aditivos retentores de água incorporadores de ar – alteram a reologia e as características de fluxo.

### **2.7.2 Tempo de pega**

Segundo Zucco (2007), o tempo de início de pega possui como característica básica o seu caráter prático, que, por estar relacionado com a perda de plasticidade e começo da solidificação da argamassa, define o tempo limite de manuseio desse material.

A relação água/gesso, é o parâmetro de maior influência na cinética da reação de hidratação e conseqüentemente, na pega do gesso. Quanto maior a quantidade de água de amassamento, maior o intervalo de tempo necessário para saturar a solução. Isto causa a ampliação do período de indução retardando o início da precipitação dos cristais de dihidrato e, por conseguinte, aumenta o tempo de pega (RIBEIRO, 2006).

#### **2.7.2.1 Fatores que influem no Tempo de Pega**

Segundo Ribeiro (2006), o controle do tempo de pega é geralmente realizado alterando-se um ou mais dos seguintes fatores:

- Tempo de mistura: Aumentando o tempo da mistura (dentro dos limites práticos) o tempo de pega será diminuído. Isto acontece porque mais núcleos de cristalização por volume de unidade são criados. Quanto maior número de núcleos de cristalização, mais rápidos os cristais de dihidrato se formam e mais rápido o material se fixará á malha interna dos cristais.

- Relação água/gesso: Diminuindo a relação de água/gesso o tempo de pega diminuirá também porque mais núcleos de cristalização de dihidrato por unidade de volume são criados.
- Temperatura: Aumentando-se a temperatura da mistura de água, diminui-se o tempo de pega, porque a taxa de difusão dos íons também aumenta acelerando, então, a taxa de reação. Acima de 50 °C, o efeito torna-se contrário porque a solubilidade de hemidrato comparado com o dihidrato diminui.
- Aceleradores e retardadores: Este é o método mais prático de se controlar a taxa de reação e tempo de pega.
- Gesso: O sulfato de cálcio dihidratado em sua forma de pasta na mistura com água atua como um forte acelerador de tempo de pega porque provê núcleos de cristalização do dihidrato.

#### **2.7.2.1.1 Aditivos retardadores**

Os aditivos, em geral, são substâncias empregadas para modificar algumas propriedades das pastas, argamassas e concretos empregados na construção civil. O uso dos aditivos retardadores tem a finalidade de atrasar a pega das pastas de gesso, de maneira a permitir um tempo de aplicação mais longo no emprego destas. No caso específico do gesso há um grande número de substâncias que podem ser empregadas como retardadores: citratos, acetatos, tartaratos, fosfatos, boratos, proteínas, que retardam tanto o início como o fim de pega da pasta, permitindo manter a trabalhabilidade das mesmas por um período maior (CINCOTTO e HENAO, 1997).

A Tabela 2.7 mostra as principais características das substâncias retardadoras mais utilizadas no mercado brasileiro, assim como o número de citações na literatura.

**Tabela 2.7 - Principais Características dos aditivos**

| Aditivo            | pH  | Solubilidade<br>g/100ml água | Nº de citações |
|--------------------|-----|------------------------------|----------------|
| Ácido cítrico      | 5,0 | 133                          | 13             |
| Citrato de sódio   | 8,0 | 77                           | 5              |
| Acetato de amônio  | 7,0 | 100                          | 6              |
| Acetato de sódio   | 8,9 | 125                          | 6              |
| Bórax              | 9,5 | 62                           | 9              |
| Ácido tartárico    | 2,2 | 139                          | 9              |
| Hexametáfosfato    | 8,5 | leve                         | 3              |
| Fosfato dibásico   | 8,0 | 131                          | 3              |
| Fosfato monobásico | 8,5 | 15                           | 4              |
| Caseína            | 6,3 | insolúvel                    | 3              |
| Metilcelulose      | 5,2 | solúvel                      | 3              |

Fonte: adaptado de Cincotto e Henao (1997)

Segundo o estudo feito por Cincotto e Henao (1997) levando em conta o desempenho das misturas de gesso de construção e substâncias retardadoras, assim como o custo destes materiais, as substâncias recomendadas para emprego em obra, como aditivos retardadores de pega do gesso de construção são o citrato, o bórax e os fosfatos mono e dibásico em concentrações próximas de 0,03%, 0,7% e 0,3%, respectivamente.

### 2.7.3 Resistência à compressão

A característica mais importante de uma argamassa é a sua resistência à compressão. Quanto maior for esta, maior será a resistência química, a impermeabilidade, a resistência ao desgaste e ao choque e menor é a sua aderência.

A NBR 13281 (ABNT, 2001) prescreve que os requisitos mecânicos das argamassas devem estar em conformidade com as exigências indicadas na Tabela 2.8:

**Tabela 2.8 - Limites de Resistência à Compressão das Argamassas (28 dias)**

| Identificação | Limites (MPa)        | Método    |
|---------------|----------------------|-----------|
| I             | $\geq 0,1$ e $< 4,0$ | NBR 13279 |
| II            | $\geq 4,1$ e $< 8,0$ |           |
| III           | $> 8,0$              |           |

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2001).

#### 2.7.4 Resistência à Tração na flexão

A resistência à tração pode influenciar positivamente no controle da fissuração em situações em que o movimento de retração por secagem está restringido. Entretanto, executar revestimentos muito rígidos e com alta resistência à tração, também podem causar fissuração, já que a diminuição da capacidade de alívio das tensões poderá superar facilmente a resistência à tração (MIRANDA e SELMO, 2003).

#### 2.7.5 Resistência de a Aderência à tração

A aderência é um requisito de desempenho fundamental para evitar problemas de infiltração de água e descolamento do rejunte, e para garantir a fixação do material às laterais das cerâmicas ao suportar as solicitações mecânicas. Embora a área de contato efetivo seja a garantia da aderência da argamassa ao substrato (TEMOCHE-ESQUIEL et al., 2007).

A resistência de aderência à tração do revestimento pode ser medida através do ensaio de arrancamento por tração. De acordo com a norma NBR 13749 (ABNT, 1996), o limite de resistência de aderência à tração ( $R_a$ ) para o revestimento de argamassa (emboço e massa única) varia de acordo com o local de aplicação e tipo de acabamento, conforme a Tabela 2.9.

**Tabela 2.9 - Limites de Resistência de Aderência á Tração ( $R_a$ )**

| Tabela 2.5 Limites de Resistência de Adesência à Tração (Ra) |         |                             |          |
|--------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------|----------|
| Local                                                        |         | Acabamento                  | Ra (MPa) |
| Parede                                                       | Interna | Pintura ou base de reboco   | ≥20      |
|                                                              |         | Cerâmica ou laminado        | ≥30      |
|                                                              | Externa | Pintura ou base para reboco | ≥30      |
|                                                              |         | Cerâmica                    | ≥30      |
| Teto                                                         |         |                             | ≥20      |

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 1996).

### 3 – METODOLOGIA

Este capítulo expõe o caminho através do qual se chegou à realização de toda a pesquisa, na busca de atingir os objetivos deste trabalho de dissertação.

#### 3.1 Tipologia da Pesquisa

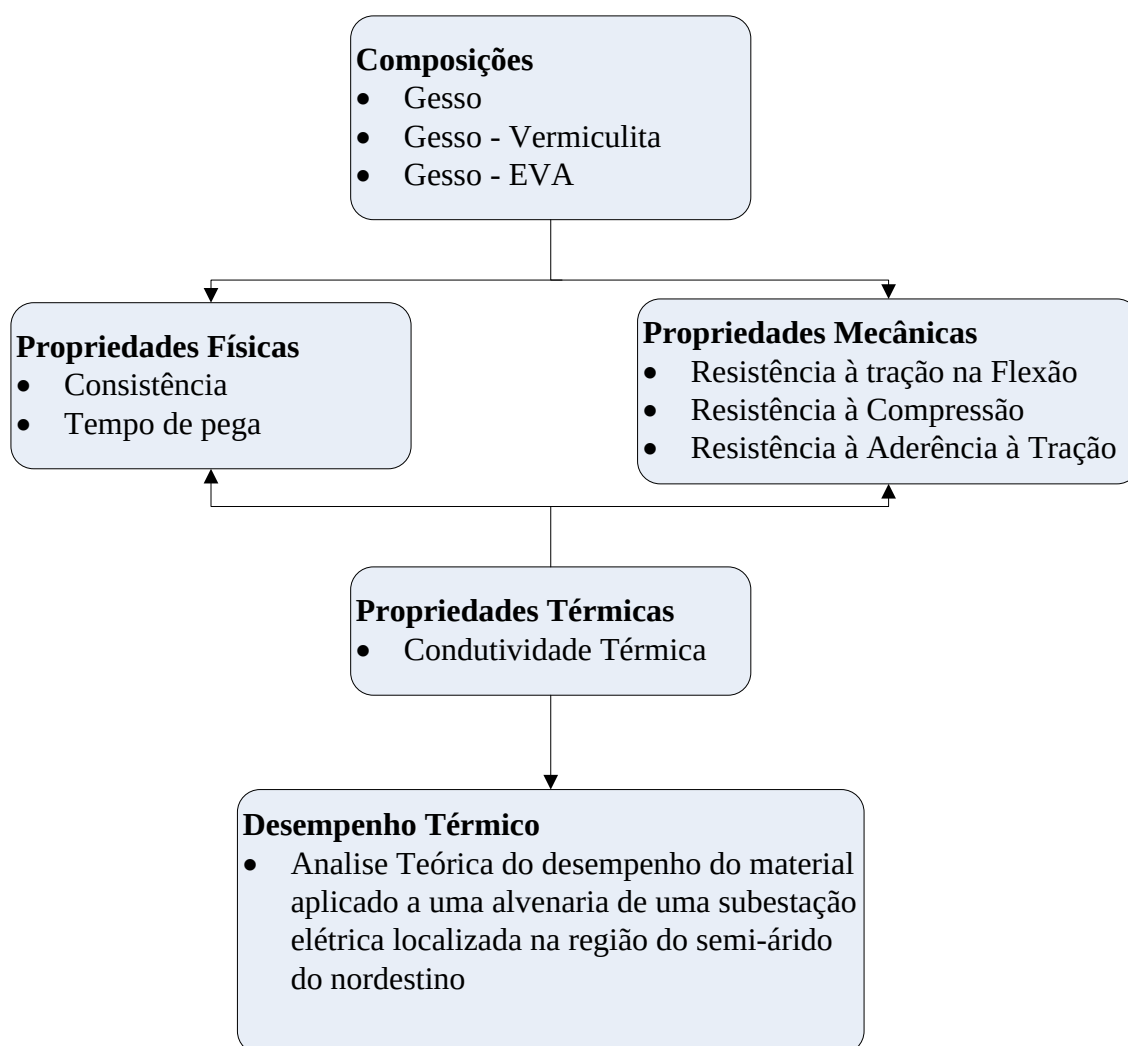
De acordo com a necessidade de identificar o delineamento metodológico deste trabalho, esta seção apresenta a tipologia de pesquisa. Apresenta-se a seguir, de acordo com Silva et al. (2005) e Gil (1991), a classificação da pesquisa.

- Do ponto de vista da natureza: a pesquisa é aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos sobre revestimento internos de paredes confeccionados com materiais não-convecionais para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas de redução de carga térmica em ambientes artificialmente climatizados.
- Do ponto de vista da forma de abordagem do problema: a pesquisa é quantitativa, pois irá quantificar as propriedades físicas, mecânicas e térmicas dos materiais em estudo, analisando a possível redução percentual da carga térmica.
- Do ponto de vista de seus objetivos: a pesquisa é exploratória e explicativa, pois envolve um levantamento bibliográfico de produtos desenvolvidos com materiais não convencionais e análise das suas propriedades físico-mecânicas e térmicas, depois visa a identificar, através de experimentos, as propriedades supracitadas do material em estudo.
- Do ponto de vista dos procedimentos técnicos: a pesquisa é bibliográfica, experimental e estudo de caso, pois foi elaborada a partir de material publicado, determinou-se como objeto de estudos materiais não-convecionais para revestimento, foram selecionadas variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definidas formas de controle e de observações que as variáveis produzem no objeto de estudo, e por fim um estudo de caso teórico para aplicação do objeto em estudo numa subestação elétrica com o intuito de fazer uma análise do desempenho térmico.

### 3.2 Procedimento Metodológico

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma do programa experimental e no Quadro 3.1 são apresentados os indicadores e as variáveis juntamente com os objetivos a que se pretendeu chegar com a realização dos mesmos.

Figura 3.1 – Fluxograma do Trabalho Experimental





**Quadro 3.1 – Variáveis e indicadores do trabalho em estudo**

| Variáveis              | Objetivos                                                                                                                                                                 | Indicadores                                                                                                                                                             |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Propriedades Físicas   | Avaliar a influência de adição da vermiculita e do resíduo de EVA e da relação água/gesso na consistência e na velocidade de endurecimento dos compósitos                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consistência</li> <li>• Relação água/gesso</li> <li>• Tempo de pega</li> </ul>                                                 |
| Propriedades Mecânicas | Estudar a influência de adição e da relação água/gesso no comportamento mecânico dos compósitos no estado endurecido.                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistência à compressão</li> <li>• Resistência à tração na flexão</li> <li>• Resistência á aderência na flexão</li> </ul>     |
| Propriedades Térmicas  | Determinar as propriedades térmicas dos compósitos com vermiculita, resíduo de EVA e da matriz de gesso.                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condutividade térmica</li> </ul>                                                                                               |
| Desempenho Térmico     | Fazer uma análise teórica do desempenho térmico deste elemento aplicado em alvenarias de uma subestação de energia elétrica localizada na região do semiárido nordestino. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dados climáticos (temperatura, umidade)</li> <li>• Materiais de construção das edificações</li> <li>• Carga térmica</li> </ul> |

### 3.3 Materiais

#### 3.3.1 Gesso

Para a produção dos compósitos foi utilizado gesso de revestimento disponível no comércio local. Na Tabela 3.1 estão apresentados os dados da caracterização química, física e mecânica do gesso de revestimento utilizado. Observa-se que todas as características estão de acordo com os limites exigidos na NBR 13207 (ABNT- 1994), exceto o tempo de início e fim de pega que foram inferiores ao exigidos, sendo assim foi necessária a utilização de aditivos retardadores para que houvesse melhora nessa característica.

**Tabela 3.1 - Características físicas, químicas e mecânicas do gesso de revestimento**

| Características                          | Valores | Método                  | Limite (NBR 13207) |
|------------------------------------------|---------|-------------------------|--------------------|
| <b>Químicas</b>                          |         |                         |                    |
| Óxido de cálcio (CaO) (%)                |         | Fluorescência de raio X | >38                |
| Anidrido sulfúrico(SO <sub>3</sub> ) (%) |         |                         | >53                |
| Água livre (%)                           |         |                         | ≤1,3               |
| Água de cristalização (%)                |         |                         | 4,2 a 6,2          |
| <b>Físicas e mecânicas</b>               |         |                         |                    |
| Resistência à compressão (MPa)           | 17      |                         | >8,4               |
| Resistência à tração na flexão (MPa)     | 6,37    | NBR 12129               | >3,0               |
| Dureza Shore                             | 100     | CENT/TC 241             | >60                |
| Tempo de início de pega (min)            | 6,44    |                         | >10                |
| Tempo de fim de pega (min)               | 9,72    | NBR 12128               | >45                |
| Consistência normal (a/g)                | 0,5     |                         |                    |
| Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )      | 0,75    |                         |                    |

### 3.3.2 Vermiculita

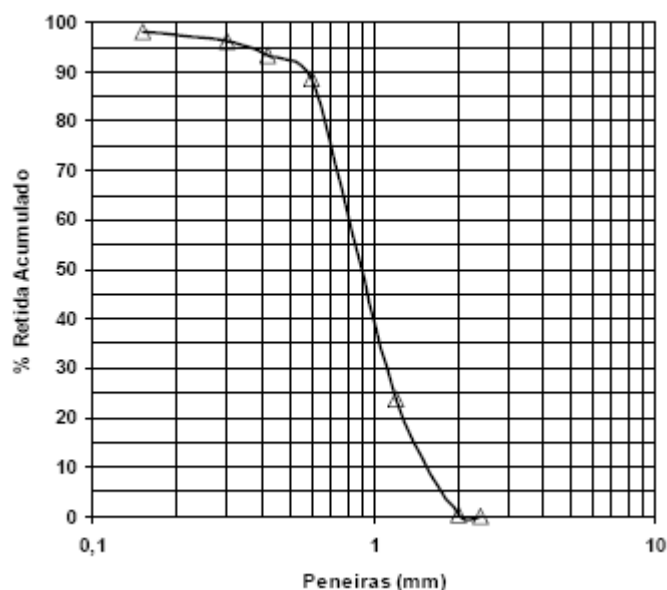
Utilizou-se a vermiculita expandida (Figura 3.1), produzida industrialmente. O material foi adquirido em sacos de papel “kraft”. O percentual de gesso/vermiculita é de 20%, determinado segundo Oliveira (2009), através de otimização de estudos estatísticos sobre esta composição.

**Figura 3.2 – Vermiculita expandida**



A curva de distribuição granulométrica (Gráfico 3.1) da vermiculita foi obtida conforme a norma NBR 11355 (1989), com 23,28% retida na peneira padronizada pela ABNT, de abertura 1,2 mm, enquanto que, 65,07% ficaram retidas na peneira de abertura 0,6 mm. O restante do material ficou retido nas peneiras de aberturas 0,42 mm: 4,62%; 0,3 mm: 2,82% e 0,15 mm: 1,97%. A vermiculita apresenta massa unitária de  $0,19 \text{ g/cm}^3$ , obtida através da norma NBR 7251 (1982) para agregados no estado solto.

**Gráfico 3.1 – Curva granulométrica da vermiculita**



### 3.3.3 Resíduo de Etileno Acetato de Vinila (EVA)

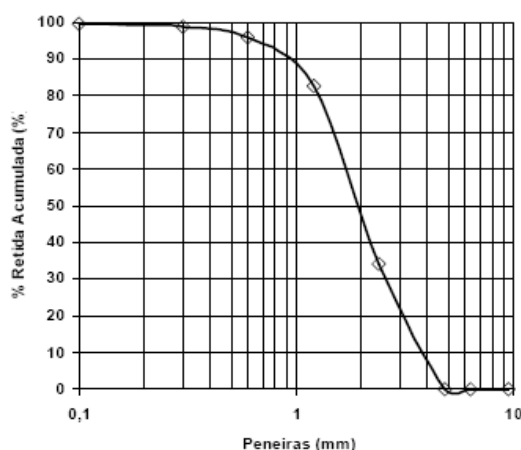
Os resíduos de EVA (Figura 3.3) foram coletados em uma indústria de calçados na cidade de João Pessoa – PB. O material não passou por nenhum processo de beneficiamento no laboratório sendo utilizado na forma em que foi coletado. O percentual na mistura gesso/EVA foi de 12,5%, percentual determinado segundo Oliveira (2009), através de otimização de estudos estatísticos sobre esta composição.

**Figura 3.3 – Resíduo de EVA**



A curva granulométrica do resíduo de EVA (Gráfico 3.2) foi determinada conforme adaptação da norma NBR 7217 (1987) indicada para a composição granulométrica de agregados. Os resultados demonstram que 100% do material passou na peneira de abertura 4,8 mm; 34,18% ficou retido na peneira 2,4 mm, 48,5% na peneira 1,2 mm e 13,22% na peneira 0,6 mm; o restante ficou retido na peneira 0,3 mm: 2,97 % e 0,58% na peneira 0,15 mm. A massa unitária de 0,22 g/cm<sup>3</sup> foi determinada de acordo com a norma NBR 7251 (1982) para agregados no estado solto.

**Gráfico 3.2 – Curva granulométrica do resíduo de EVA**



### 3.3.4 Aditivos retardadores

Foram utilizados dados da NBR 12128 (1991) para determinar o percentual do aditivo ácido cítrico, que foi de 2% em relação à massa de gesso. Porém, com esse percentual, as pastas permaneceram fluidas por mais de 6 horas. Sendo assim, esse percentual mudou para 0,03% de ácido cítrico em relação à massa de gesso, de acordo com experiências feitas por Cincotoo (1997). Mesmo assim não se conseguiu resultados satisfatórios, tendo-se que mudar novamente esse percentual de retardador para 0,014% em relação à massa de gesso.

### 3.3.5 Água

A água utilizada foi fornecida pelo sistema de abastecimento da cidade de João Pessoa – PB.

## 3.4 Procedimento Experimental

Os ensaios das etapas 1 e 2 foram realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da UFPB- LABEME, as quais são descritas a seguir.

- **Etapas 1**

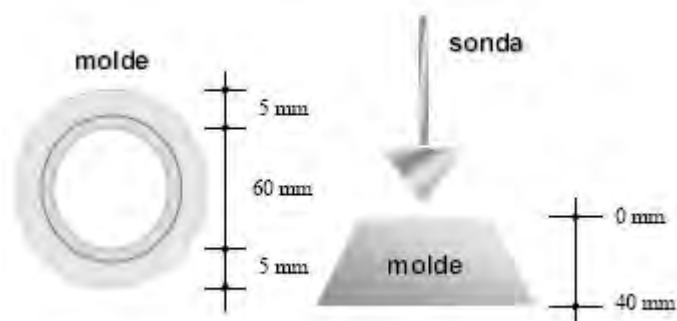
O objetivo desta primeira etapa foi determinar o comportamento físico do gesso de revestimento e das argamassas de gesso puro, e de gesso com adição de vermiculita e de resíduo de EVA, a partir dos percentuais otimizados determinados por Oliveira (2009), que são de 20% para composição gesso/vermiculita e 12,5% para composição gesso/EVA. Esse comportamento físico foi estudado a partir da consistência das misturas para a determinação da relação água/gesso e do tempo de pega.

### 3.4.1 Índice de Consistência

O índice de consistência do gesso de revestimento é recomendado pela NBR 12128 (ABNT, 1991), sendo feito com o aparelho de Vicat Modificado (Figura 3.4). A amostra é acondicionada num tronco cônico com 40mm de altura, 70mm de diâmetro na base inferior e 60mm de diâmetro na base superior. A medida da consistência, em mm, é função da penetração da sonda

cônica na amostra. A consistência é considerada normal quando é obtida uma penetração de  $30 \pm 2$  mm.

**Figura 3.4 – Esquema do aparelho de Vicat modificado**



Fonte- NBR 12128-1991

A determinação do índice de consistência das argamassas, recomendada pela NBR 13276 (ABNT, 2005), é feita com um equipamento mecânico na mesa para índice de consistência (Figura 3.5). A pasta de gesso é posta num molde metálico em forma de tronco de cone, usando-se um soquete também metálico, conforme a norma ABNT NBR 7215 (1996).

Deve-se encher o molde em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e aplicar em cada uma delas, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com o soquete, de maneira a distribuí-las uniformemente.

Posteriormente, aciona-se o equipamento para que ele efetue 30 golpes. Após o último golpe, mede-se com um paquímetro o espalhamento do molde tronco-cônico original da argamassa (Figura 3.6). Devem ser realizadas três medições de diâmetro tomadas em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro da circunferência.

O índice de consistência da argamassa corresponde à média das três medidas de diâmetro, em mm, e arredondada ao número inteiro mais próximo.

Na falta de normatização das argamassas de gesso, utilizou-se a consistência adotada para argamassas mistas de cal e cimento. Assim, a relação água/gesso foi à recomendada de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2005), ou seja, por tentativas, colocando-se água até obter-se um espalhamento chamado índice de consistência de  $260 \pm 5$  mm.

**Figura 3.5 – Aparelho para determinação da consistência da argamassa - NBR 7215**



**Figura 3.6 – Amostra no ensaio de consistência**



### **3.4.2 Tempo de Pega**

O ensaio para determinar o tempo de início e fim de pega foi realizado de acordo com a NBR 12128 (1991), o qual utiliza o aparelho de Vicat (Figura 3.7), como foi descrito no item 3.4.1, é constituído de uma haste com uma agulha de seção transversal de  $1 \text{ mm}^2$  em uma das extremidades, e um molde de formato de tronco cônico com 40 mm de altura, 70 mm de diâmetro da base e 60 mm de diâmetro superior preenchido com o material em estudo.

**Figura 3.7 – Ensaio com aparelho de Vicat**



- **Etapa 2**

Após a caracterização do comportamento físico do gesso de revestimento e das argamassas em estudo, foi analisado o comportamento mecânico desses materiais (gesso puro de revestimento e argamassas gesso, gesso/EVA e gesso/vermiculita). Seguem as propriedades mecânicas analisadas e o procedimento de moldagem dos corpos de provas utilizadas nesses ensaios.

### **3.4.3 Moldagem dos corpos de prova**

Fez-se a mistura segundo a norma NBR 12128 (ABNT, 1991). Inicialmente o gesso e a água foram pesados levando em conta a relação água/gesso constante para uma consistência normal de uma pasta. Em seguida foi pesada a quantidade de retardador adicionado, que foi calculada em porcentagem da massa de gesso, depois foram pesado os materiais de adição, cada qual no seu percentual otimizado.

As misturas foram preparadas manualmente, na seguinte ordem de colocação dos componentes:

- 1- Diluição do aditivo na água;
- 2- Homogeneização do gesso e do material de adição;
- 3- Polvilhamento do material homogeneizado sobre a água;
- 4- Misturar até obtenção de uma pasta homogênea, mostrado na Figura 3.8.



**Figura 3.8 – Mistura dos Compósitos**

Foram produzidos três corpos-de-prova prismáticos para cada mistura, com dimensões 40mm x 40mm x 160mm. Os moldes eram compostos por três compartimentos para que se pudessem preparar simultaneamente os três corpos de prova utilizados nos ensaios. Os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 13279 (2005).

A massa foi lançada no molde metálico, mostrada na Figura 3.9, em uma camada e adensada manualmente para evitar aprisionamento de ar. Em seguida foi aplicada a segunda camada. Após o início de pega, o molde foi rasado com o auxílio de uma espátula e devidamente identificado.

**Figura 3.9 – Moldagem dos compósitos**



Cerca de 1 hora após a moldagem os corpos de prova foram retirados dos moldes. Esse tempo foi suficiente para que os referidos corpos de prova adquirissem resistência para serem manuseados e acondicionados no interior do laboratório por 24 horas e, posteriormente, colocados em estufa com temperatura entre 40°C e 50°C , para acelerar o processo de secagem até o peso constante.

#### 3.4.4 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão foi determinada de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005). No ensaio, um carregamento central foi aplicado ao corpo de prova prismático de 40 mm x 40 mm x 160mm (Figura 3.10), posto sobre dois apoios com 100 mm de vão entre eles, e um terceiro apoio foi localizado centralizadamente entre os roletes de suporte. Os três roletes estão no mesmo plano vertical e permanecem equidistantes e perpendiculares à direção do carregamento sobre o prisma de argamassa. Foram ensaiados três corpos de provas e considerado o valor médio. A resistência à tração na flexão (RTF) foi calculada através da equação 14.

$$RTF = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (14)$$

Onde:

RTF = Resistência à Tração na Flexão (MPa)

P = Carga de ruptura (N)

L = Espessura da amostra (mm)

b = base do corpo de prova (mm)

h = altura do corpo de prova (mm)

**Figura 3.10 – Ensaio de Flexão 3 pontos**



### 3.4.5 Resistência à compressão

De acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), devem-se utilizar as metades dos três corpos-de-prova do ensaio de flexão, e considerado o valor médio dos resultados. Porém não é necessário utilizar a média dos valores dos seis corpos de prova, devendo se utilizar apenas quatro. A máquina utilizada foi uma prensa universal (Figura 3.11), onde os corpos de prova são posicionados no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio, de modo que a face rasada não fique em contato com o dispositivo de apoio nem com o dispositivo de carga.

**Figura 3.11 – Ensaio de resistência à compressão**



### 3.4.6 Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência à tração na flexão das argamassas em estudo foi determinada de acordo com, a NBR 13528 (ABNT, 1995). Não foi necessária a realização desse ensaio para o gesso de revestimento, visto que é um ensaio específico para argamassas.

Utilizou-se uma placa metálica não deformável sob carga de ensaio, que tem seção quadrada com 100 mm de lado, e um dispositivo no centro para acoplamento do equipamento de tração. Há uma pastilha de apoio do corpo de prova, apresenta a mesma seção do corpo-de-prova de revestimento a ser ensaiado. O processo se dá por arrancamento, conforme mostra Figura 3.12 e o equipamento utilizado está representado na Figura 3.13.

A resistência de aderência à tração é calculada através da seguinte equação 15:

$$Ra = \frac{P}{A} \quad (15)$$

Onde:

Ra= Resistência de aderência à tração (MPa)

P=Carga de ruptura, em N;

A= Área da pastilha, em mm<sup>2</sup>.

Figura 3.12 – Esquema do ensaio de determinação da resistência de aderência à tração

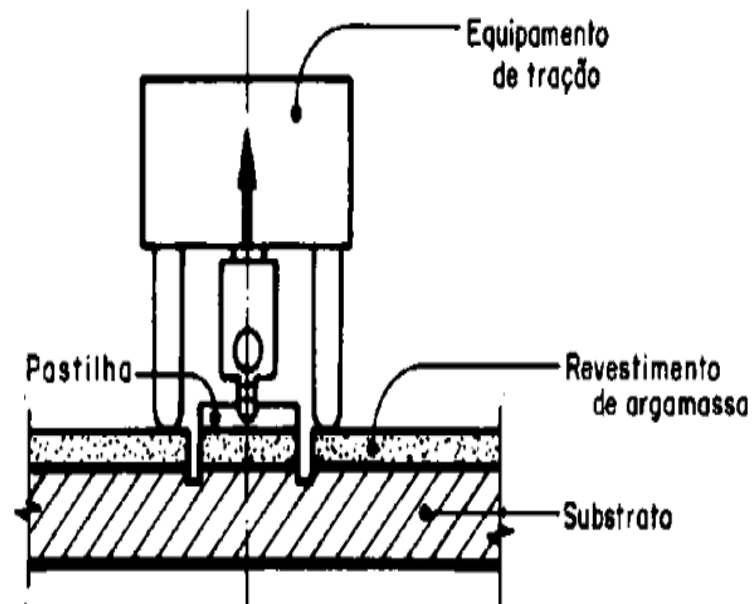


Figura 3.13 – Equipamento de tração - Aderímetro



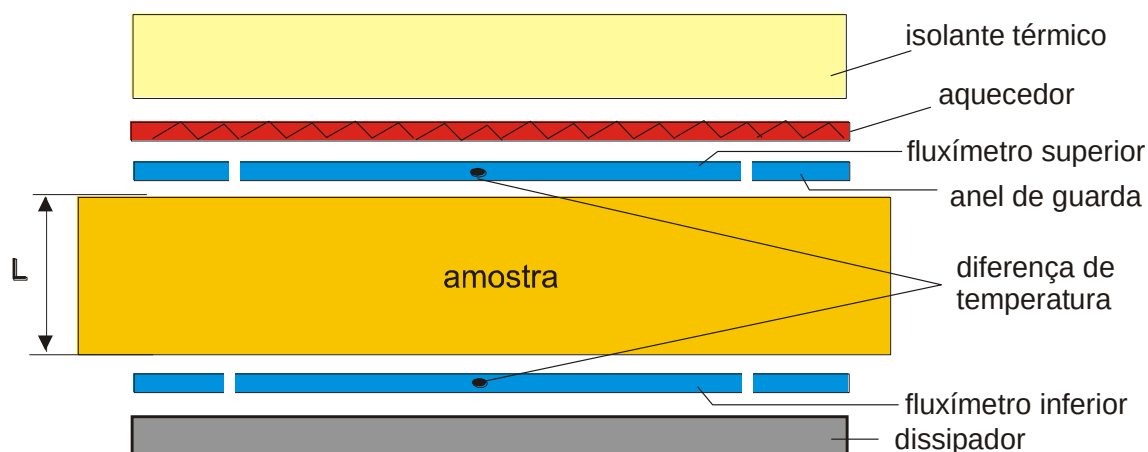
- **Etapa 3**

Uma vez definidos os comportamentos físicos-mecânicos das argamassas em estudo, foram realizados ensaios para obter o comportamento térmico. Na sequência é descrito o ensaio realizado.

### 3.4.7 Condutividade Térmica

A condutividade térmica foi determinada a partir do método fluxométrico. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, no equipamento Condutivímetro Fluximétrico, seguindo os procedimentos da Norma Técnica ISO 8301- 1991: "Standart Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus", mostrado esquematicamente na Figura 3.12.

**Figura 3.14 – Princípio do método de medição da resistência térmica**



Fonte: GÜTHS, et. al. (1995).

A resistência térmica é determinada a partir da lei de Fourier, equação 16:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\left( \frac{q_1 + q_2}{2} \right)} \quad (16)$$

Onde:

$R$  = resistência térmica ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ );

$q_1$  e  $q_2$  = a densidade de fluxo de calor medido pelos fluxímetros 1 e 2, respectivamente, ( $\text{W/m}^2$ );

$T_1$  e  $T_2$  = as temperaturas superficiais da amostra, medidas por termopares ( $^{\circ}\text{C}$ )

Considerando que a amostra é homogênea, é possível determinar a condutividade térmica do material ( $\lambda$ ) a partir da equação 17:

$$\lambda = \frac{L}{R} \quad (17)$$

Onde

$\lambda$  = condutividade térmica, em  $\text{W/m K}$ ;

$L$  = espessura da amostra, em m.

As amostras utilizadas para essa medição eram quadradas com 10 cm de lado e espessura de 3 mm, conforme Figura 3.15.

**Figura 3.15 – Amostra utilizada no método fluxométrico**



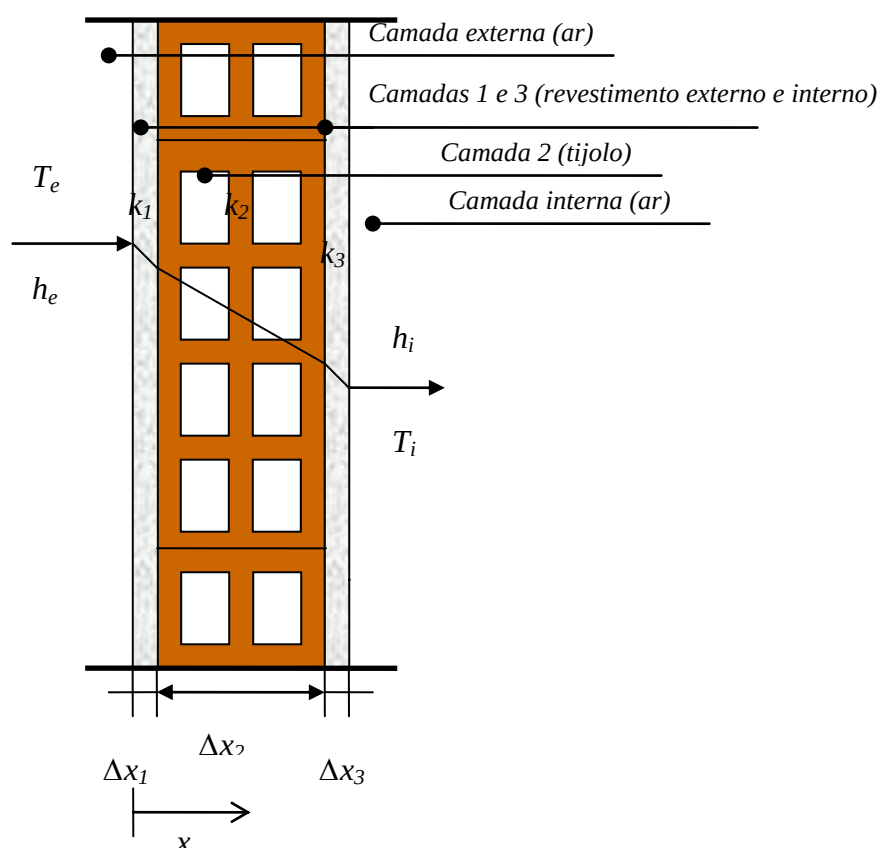
### 3.5 Avaliação do Desempenho Térmico

O desempenho térmico esperado das argamassas foi analisado de acordo com Çengel (2007), considerando paredes planas compostas, contendo duas camadas de argamassa, sendo uma externa e outra interna sobre uma parede de tijolos cerâmicos com 8 furos. Foi calculado esse desempenho através das equações 11 e 13, e a representação de acordo com a Figura 3.16. No

cálculo do fluxo de calor através das paredes compostas em regime permanente foram consideradas as seguintes condições:

- Fluxo de calor constante (não muda com o tempo);
- Fluxo de calor unidirecional, predominante na direção  $x$ ;
- Condutividades térmicas constante;

**Figura 3.16 – Parede plana composta**



### 3.5.1 Estudo de Caso Teórico

O estudo de caso teórico para determinação do desempenho térmico tomou por base uma subestação elétrica específica da CHESF, localizada em Milagres, na região semiárida do Estado do Ceará. Sua finalidade foi avaliar o comportamento térmico em relação à carga térmica de materiais não convencionais em revestimento interno de paredes, fazendo um comparativo de desempenho com os materiais convencionais usados na subestação em estudo.

### 3.5.1.1 Identificação da área da pesquisa

O município de Milagres está localizado a 508 km da Capital Fortaleza, CE. Tem uma população de aproximadamente 28.317 habitantes, segundo a contagem do IBGE em 2010.

### 3.5.1.2 Coleta e tratamento dos dados

Para realização dessa pesquisa, foi feita uma visita à referida subestação entre os dias 16 a 18 de outubro de 2009. Naquela ocasião realizou-se então, uma análise termo-ambiental e levantamento dos materiais de construção utilizados nas edificações, identificando-se quais os locais que seriam estudados para uma futura implantação das argamassas desenvolvidas.

Foi observado que algumas das construções têm o mesmo padrão, sendo as paredes planas composta de tijolos de 8 furos e argamassa de revestimento convencional com 2,5 cm de espessura em ambas as faces. Desconsiderou-se o material do telhado, igual para todos, pois o objetivo dessa pesquisa foi analisar e comparar a carga térmica através das paredes convencionais e com as mesmas paredes, porém revestidas com argamassas não convencionais.

As edificações, objeto de estudo, estão citadas na Tabela 3.2, a qual contém as temperaturas internas registradas durante a visita e que são consideradas normais, conforme informação dos operadores.

**Tabela 3.2 - Temperaturas internas registradas em alguns setores da subestação**

| EDIFICAÇÃO                  | I (°C) |
|-----------------------------|--------|
| Sala de comando             | 5      |
| Cabana de réles 69kv        | 3      |
| Cabana de réles 230 kv      | 3      |
| Cabana de réles 500 kv      | 3      |
| Sala de baterias            | 5      |
| Casa de serviços auxiliares | 5      |

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Várias experiências foram realizadas em laboratórios com a finalidade de se conhecerem importantes propriedades físicas e mecânicas do gesso de revestimento, individualmente, fazendo assim uma caracterização desse gesso. Posteriormente, foram desenvolvidas as argamassas de gesso (controle), gesso-EVA e gesso-vermiculita, e analisadas as propriedades físicas, mecânicas e térmicas. A seguir são apresentados os resultados obtidos e as respectivas discussões.

### 4.1 Caracterização do gesso de revestimento

#### 4.1.1 Propriedades Físicas do gesso de revestimento

##### 4.1.1.1 Consistência do gesso de revestimento

O ensaio demonstrou que a penetração da sonda do aparelho de Vicat modificado, no qual de acordo com a NBR 12128 (ABNT, 1991), citada anteriormente, o intervalo de penetração da consistência normal deve ser de  $30 \pm 2$  mm, propõe a relação água/gesso de 0,5.

##### 4.1.1.2 Tempo de Pega do gesso de revestimento

Os resultados com os tempos de início e fim de pega estão apresentados na Tabela 4.1. Foram feitas quatro medições usando-se gesso sem retardador de pega.

| <b>Tabela 4.1 – Início e Fim de Pega do Gesso de revestimento</b> |                          |                       |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| <b>Fator a/g</b>                                                  | <b>Início Pega (min)</b> | <b>Fim Pega (min)</b> |
| 0,5                                                               | 6,01                     | 8,24                  |
| 0,5                                                               | 6,27                     | 10,09                 |
| 0,5                                                               | 6,45                     | 10,23                 |
| 0,5                                                               | 7,04                     | 10,32                 |

Os tempos de início e fim de pega aparentemente foram pequenos para o uso desejado para o gesso de revestimento. Assim, foi preciso aumentá-los, e isso foi possível através de retardadores de pega aplicados às argamassas desenvolvidas.



## 4.1.2 Propriedades Mecânicas do Gesso de Revestimento

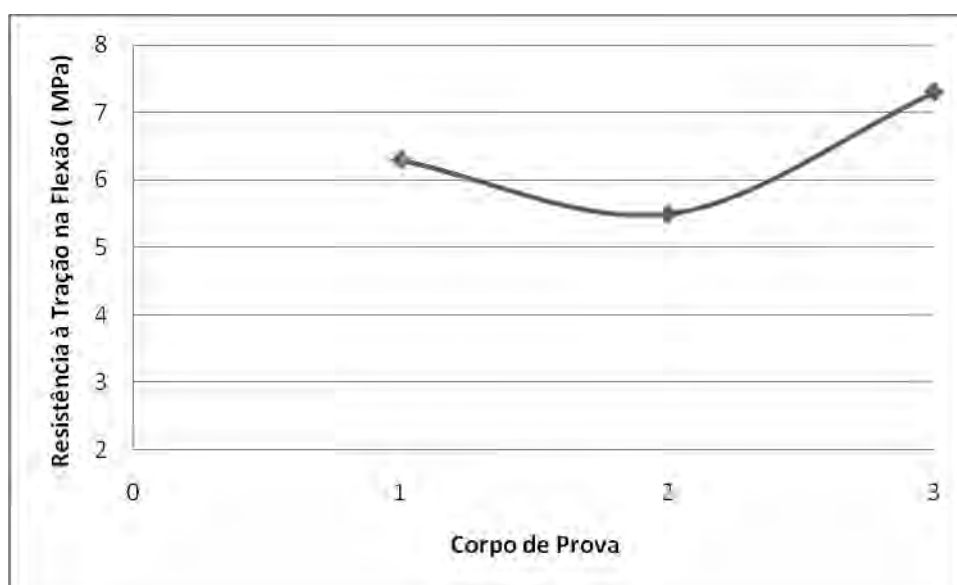
### 4.1.2.1. Resistência à tração na flexão do gesso de revestimento

Os resultados da resistência à tração na flexão do gesso de revestimento dos três corpos de provas e a média deles estão apresentados na Tabela 4.2 e na curva no Gráfico 4.1. Obteve-se um valor médio para a resistência à tração na flexão do gesso de revestimento igual a 6,36 MPa. A experiência tem demonstrado que esse valor supera aqueles adequados para os fins de revestimento. Sendo assim, esses valores podem ser diminuídos com a inclusão da vermiculita e dos resíduos de EVA, que apresentaram tendência de fazer baixar essa propriedade mecânica, sem qualquer prejuízo.

**Tabela 4.2 – Resistência à Tração na Flexão do gesso de revestimento**

| Fator a/g | Corpos de Prova | RTF (MPa) |
|-----------|-----------------|-----------|
| 0,5       | 1               | 6,3       |
| 0,5       | 2               | 5,5       |
| 0,5       | 3               | 7,3       |
| Média     |                 | 6,36      |

**Gráfico 4.1 - Resistência à Tração na Flexão do gesso de revestimento**



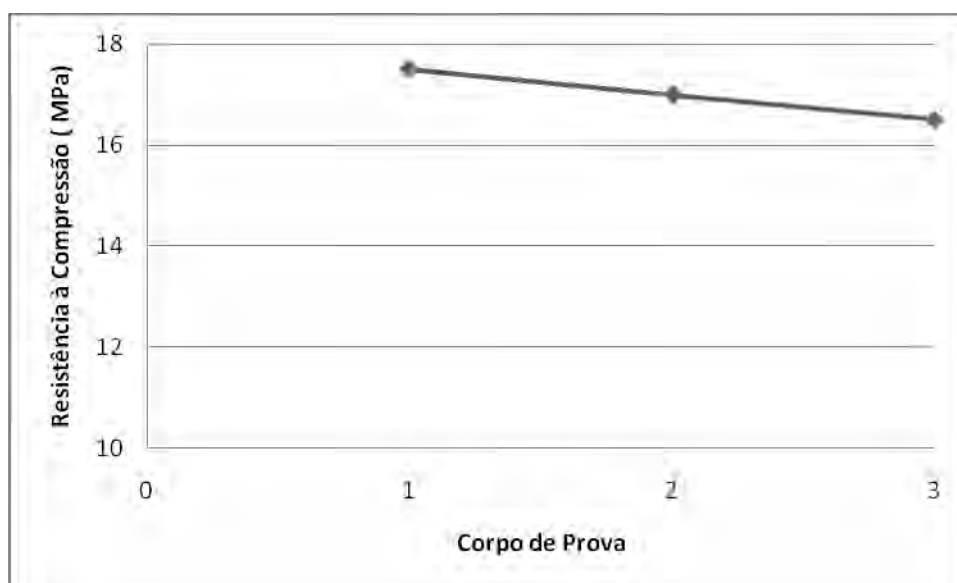
#### 4.1.2.2 Resistência à compressão do gesso de revestimento

Os resultados da resistência à compressão do gesso de revestimento dos três corpos de provas e o valor médio destes resultados estão apresentados na Tabela 4.3 e na curva do Gráfico 4.2. O valor médio da resistência à compressão do gesso de revestimento alcançou o valor de 17,0 MPa, sendo mais de que adequadas para os fins de revestimento. Assim, já têm uma boa reserva para a inclusão da vermiculita e dos resíduos de EVA, que podem ter uma tendência de fazer baixar essa propriedade mecânica.

Tabela 4.3- Resistência à Compressão do gesso de revestimento

| Fator a/g    | Corpos de Prova | RC(MPa)     |
|--------------|-----------------|-------------|
| 0,5          | 1               | 17,5        |
| 0,5          | 2               | 17,0        |
| 0,5          | 3               | 16,5        |
| <b>Média</b> |                 | <b>17,0</b> |

Gráfico 4.2 - Gráfico da resistência à compressão do gesso de revestimento



#### 4.2 Propriedades físicas das Argamassas

Depois da caracterização do gesso de revestimento, e visto que as suas propriedades estavam de acordo com as normas estabelecidas, passou-se a analisar as propriedades físicas das argamassas desenvolvidas.

### 4.2.1 Consistência das argamassas

Os resultados dos ensaios de consistência, relativos à relação água/gesso e aos índices de consistência referentes às argamassas de gesso (controle), de gesso/EVA e de gesso/vermiculita estão nas Tabelas 4.4, 4.5, e 4.6, respectivamente.

**Tabela 4.4 - Índice de Consistência da argamassa de gesso ( controle)**

| n | Água (ml) | Gesso (g) | a/g         | Medidas |       |      | IC        |
|---|-----------|-----------|-------------|---------|-------|------|-----------|
|   |           |           |             | 1       | 2     | 3    |           |
| 1 | 450       | 1300      | 0,35        | 26      | 26    | 26,5 | 26        |
| 2 | 450       | 1400      | 0,32        | 25      | 25    | 25,5 | 25        |
| 3 | 500       | 1500      | 0,33        | 25      | 24,5  | 25   | 25        |
|   |           |           | <b>0,33</b> |         | Média |      | <b>25</b> |

**Tabela 4.5 - Índice de Consistência da argamassa de gesso/EVA**

| n | Água (ml) | Gesso (g) | EVA (g) | a/g         | Medidas |       |      | IC        |
|---|-----------|-----------|---------|-------------|---------|-------|------|-----------|
|   |           |           |         |             | 1       | 2     | 3    |           |
| 1 | 340       | 700       | 87,5    | 0,49        | 28      | 27,5  | 28   | 28        |
| 2 | 300       | 700       | 87,5    | 0,43        | 24      | 24    | 25   | 24        |
| 3 | 295       | 700       | 87,5    | 0,42        | 26      | 26    | 25,5 | 26        |
|   |           |           |         | <b>0,45</b> |         | Média |      | <b>26</b> |

**Tabela 4.6 - Índice de Consistência da argamassa de gesso/Vermiculita**

| n | Água (ml) | Gesso (g) | Vermiculita (g) | a/g         | Medidas |       |      | IC        |
|---|-----------|-----------|-----------------|-------------|---------|-------|------|-----------|
|   |           |           |                 |             | 1       | 2     | 3    |           |
| 1 | 660       | 1000      | 200             | 0,66        | 24,5    | 25    | 25   | 25        |
| 2 | 320       | 500       | 100             | 0,64        | 27      | 27,5  | 28   | 28        |
| 3 | 630       | 1000      | 200             | 0,63        | 25      | 24    | 25,5 | 25        |
|   |           |           |                 | <b>0,64</b> |         | Média |      | <b>26</b> |

Analisando as Tabelas anteriores, observa-se que para a argamassa de gesso (controle) atingir o valor adequado da consistência tendo um índice de consistência de 25, teve-se uma relação água/ gesso de 0,33. Enquanto que, para a argamassa de gesso/EVA e de gesso /vermiculita atingirem o índice de consistência de 26 foram necessárias uma relação água/gesso de 0,45 e de 0,64, respectivamente. Isso mostra que a argamassa de gesso/vermiculita é a que absorve mais água

#### 4.2.2. Tempo de Pega das argamassas

Nos ensaios desse parâmetro, utilizou-se um retardador, que foi o ácido cítrico, na proporção de 0,014% em relação à massa de gesso, para que se tivesse um tempo satisfatório. Os resultados mostrados abaixo são referentes às argamassas de gesso (controle), de gesso/EVA e de gesso/vermiculita. Esses resultados estão contidos nas Tabelas 4.7, 4.8 e 4.9, respectivamente.

**Tabela 4.7- Tempo de Pega da argamassa de gesso (controle)**

| n     | Água (mL) | Gesso (g) | a/g  | Ácido cítrico (g) | Ácido cítrico (%) | Tempo de Pega (min) |     |
|-------|-----------|-----------|------|-------------------|-------------------|---------------------|-----|
|       |           |           |      |                   |                   | Início              | Fim |
| 1     | 560       | 1700      | 0,33 | 0,24              | 0,014%            | 42                  | 57  |
| 2     | 560       | 1700      | 0,33 | 0,24              | 0,014%            | 40                  | 52  |
| 3     | 560       | 1700      | 0,33 | 0,24              | 0,014%            | 43                  | 57  |
| MÉDIA |           |           |      |                   |                   | 42                  | 55  |

**Tabela 4.8 - Tempo de Pega da argamassa de gesso/EVA**

| n     | Água (mL) | Gesso (g) | a/g  | EVA 12,5% (g) | Ácido cítrico (g) | Ácido cítrico (%) | Tempo de Pega (min) |     |
|-------|-----------|-----------|------|---------------|-------------------|-------------------|---------------------|-----|
|       |           |           |      |               |                   |                   | Início              | Fim |
| 1     | 322       | 714,28    | 0,45 | 89,28         | 0,1               | 0,014%            | 44                  | 66  |
| 2     | 322       | 714,28    | 0,45 | 89,28         | 0,1               | 0,014%            | 22                  | 41  |
| 3     | 322       | 714,28    | 0,45 | 89,28         | 0,1               | 0,014%            | 28                  | 52  |
| MÉDIA |           |           |      |               |                   |                   | 31                  | 53  |

**Tabela 4.9- Tempo de Pega da argamassa de gesso/ Vermiculita**

| n     | Água (mL) | Gesso (g) | a/g  | Vermiculita 20% (g) | Ácido cítrico (g) | Ácido cítrico (%) | Tempo de Pega (min) |     |
|-------|-----------|-----------|------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-----|
|       |           |           |      |                     |                   |                   | Início              | Fim |
| 1     | 457,14    | 714,28    | 0,64 | 142,85              | 0,1               | 0,014%            | 33                  | 48  |
| 2     | 457,14    | 714,28    | 0,64 | 142,85              | 0,1               | 0,014%            | 32                  | 48  |
| 3     | 457,14    | 714,28    | 0,64 | 142,85              | 0,1               | 0,014%            | 28                  | 52  |
| MÉDIA |           |           |      |                     |                   |                   | 31                  | 49  |

Analisando as Tabelas anteriores, observa-se que a argamassa de gesso tem os tempos de início e fim de pega de 42 min e 55 min, respectivamente. Por outro lado, a argamassa de gesso/EVA tem os tempos de início e fim de pega de 31 min e 53 min, respectivamente; e a argamassa de gesso/vermiculita tem os tempos de início e fim de pega de 31 min e 49 min,

respectivamente. Sendo assim, entende-se que as argamassas em estudo possuem boa trabalhabilidade e seus tempos de pega são muito próximos.

### 4.3 Propriedades Mecânicas das Argamassas

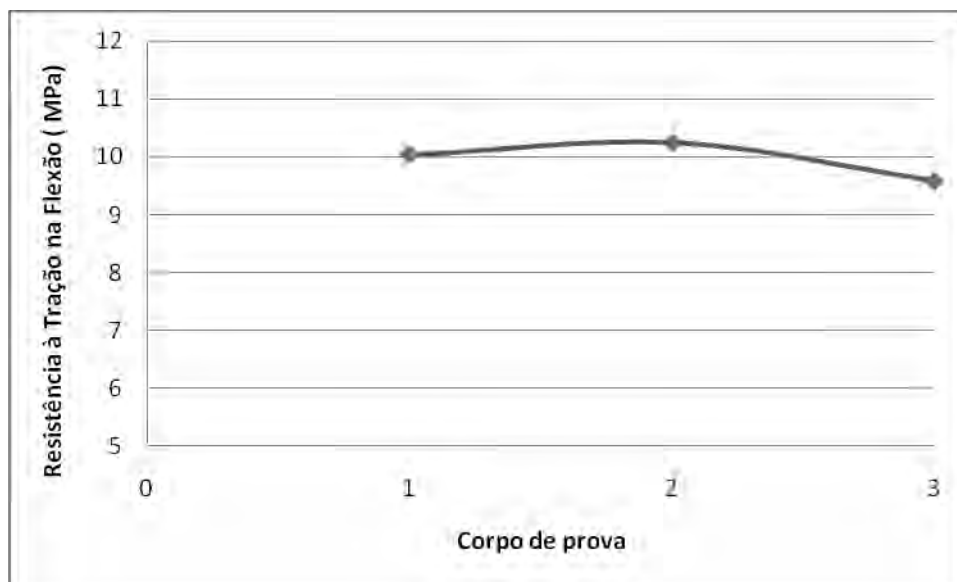
#### 4.3.1 Resistência à tração na flexão das argamassas

Os resultados da resistência à tração na flexão dos três corpos de provas e a média deles referentes às argamassas de gesso (controle), de gesso/EVA e de gesso/vermiculita, estão apresentados nas Tabelas 4.10, 4.11 e 4.12, e nas curvas dos Gráficos 4.3, 4.4 e 4.5, respectivamente.

**Tabela 4.10 – Resistência à Tração na Flexão da argamassa de controle( gesso puro)**

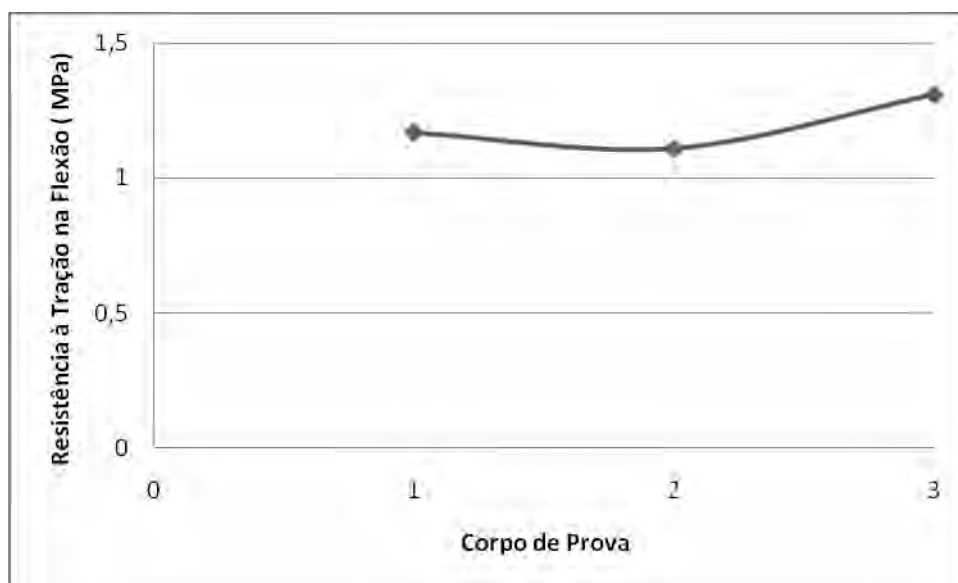
| Fator a/g | Corpos de Prova | RTF (MPa) |
|-----------|-----------------|-----------|
| 0,33      | 1               | 10,03     |
| 0,33      | 2               | 10,25     |
| 0,33      | 3               | 9,58      |
| Média     |                 | 9,95      |

**Gráfico 4.3 - Resistência à Tração na Flexão da argamassa de controle (Gesso Puro)**

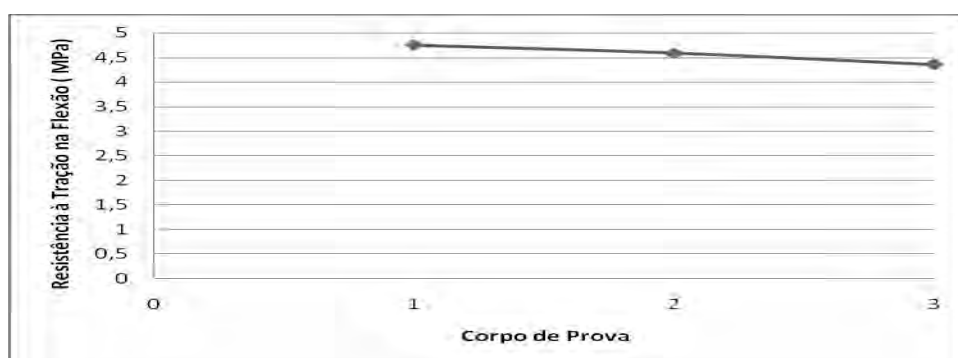


**Tabela 4.11 – Resistência à Tração na Flexão da argamassa de gesso/EVA**

| Fator a/g | Corpos de Prova | RTF (MPa) |
|-----------|-----------------|-----------|
| 0,45      | 1               | 1,17      |
| 0,45      | 2               | 1,11      |
| 0,45      | 3               | 1,31      |
| Média     |                 | 1,2       |

**Gráfico 4.4 - Resistência à Tração na Flexão da argamassa de Gesso/EVA****Tabela 4.12 – Resistência à Tração na Flexão da argamassa de gesso/Vermiculita**

| Fator a/g | Corpos de Prova | RTF (MPa) |
|-----------|-----------------|-----------|
| 0,64      | 1               | 4,75      |
| 0,64      | 2               | 4,59      |
| 0,64      | 3               | 4,36      |
| Média     |                 | 4,57      |

**Gráfico 4.5 - Resistência à Tração na Flexão da argamassa de Gesso/Vermiculita**

Obtiveram-se os valores médios para a resistência à tração na flexão da argamassa de gesso (controle), de gesso/EVA e de gesso/vermiculita de 9,95MPa, 1,2 MPa e 4,57 MPa, respectivamente. Nota-se que a argamassa de gesso possui melhor resistência, enquanto na medida em que são adicionados EVA ou Vermiculita ocorre uma diminuição da citada resistência, embora essa diminuição seja maior quando utilizado o EVA. Entretanto, ambas as argamassas estudadas possuem resistência mecânicas adequadas para fins de revestimento.

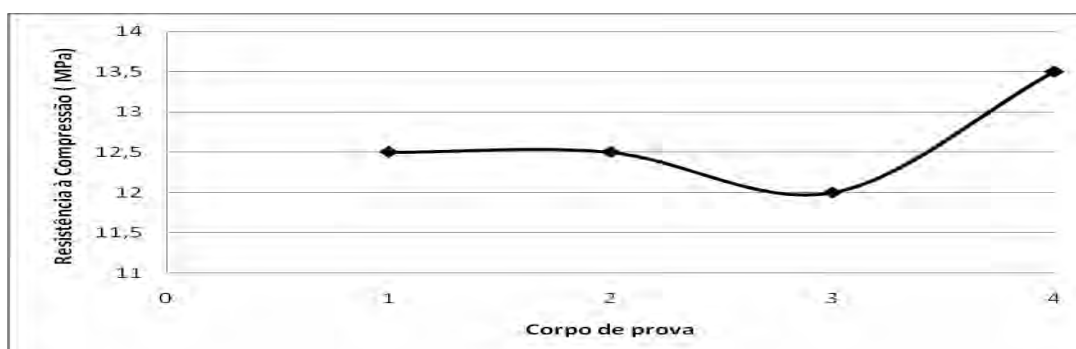
#### 4.3.2. Resistência à compressão das argamassas

Os resultados da resistência à compressão das quatro metades dos corpos de prova e a média deles referentes à argamassa de gesso (controle), de gesso/EVA e de gesso/vermiculita, estão apresentados nas Tabelas 4.13, 4.14 e 4.15, e nas curvas dos Gráficos 4.6, 4.7 e 4.8, respectivamente.

**Tabela 4.13– Resistência à Compressão da argamassa de gesso (controle)**

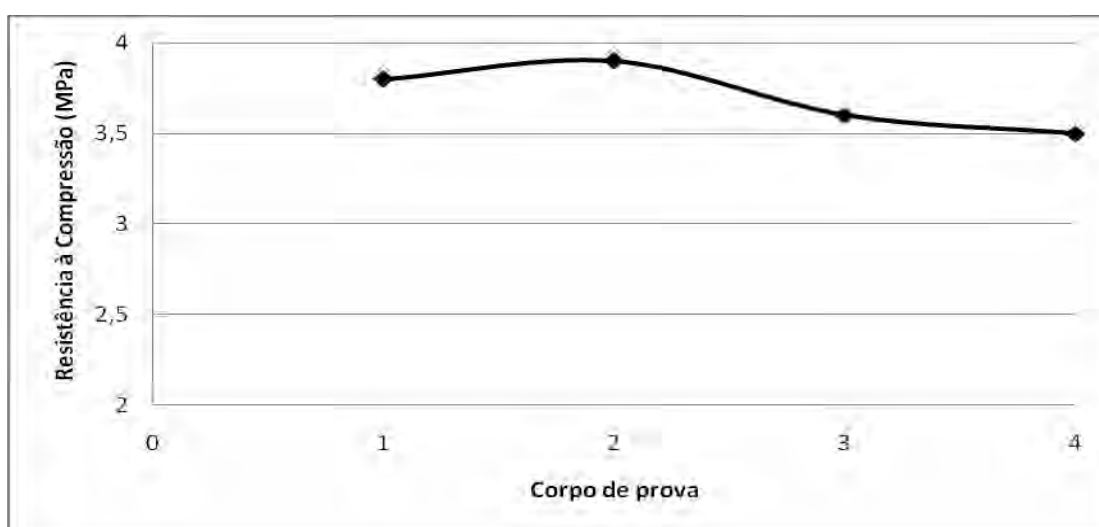
| Fator a/g    | Corpos de Prova | RC (MPa)    |
|--------------|-----------------|-------------|
| 0,33         | 1               | 12,5        |
| 0,33         | 2               | 12,5        |
| 0,33         | 3               | 12          |
| 0,33         | 4               | 13,5        |
| <b>Média</b> |                 | <b>12,6</b> |

**Gráfico 4.6 - Resistência à Compressão da argamassa de gesso (controle)**



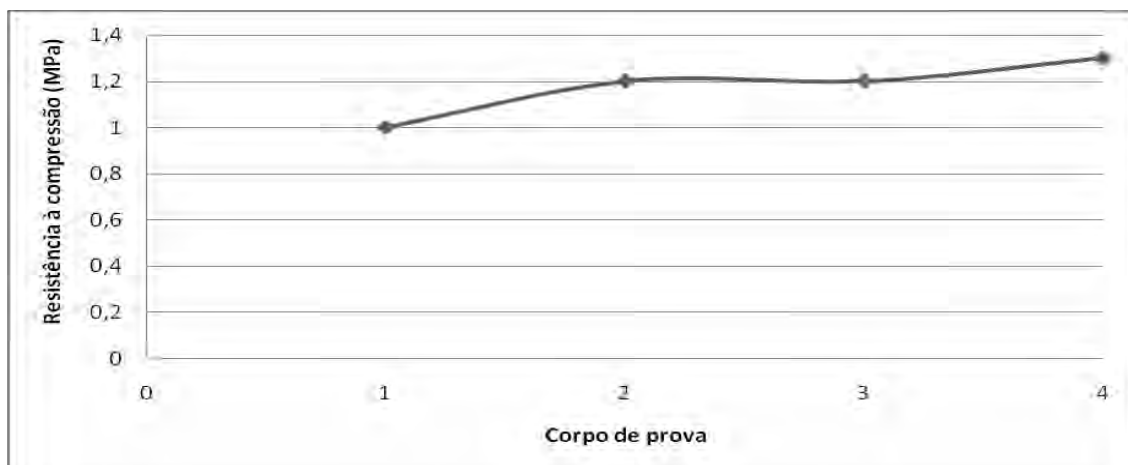
**Tabela 4.14 – Resistência à Compressão da argamassa de gesso/EVA**

| Fator a/g | Corpos de Prova | RC (MPa) |
|-----------|-----------------|----------|
| 0,45      | 1               | 3,8      |
| 0,45      | 2               | 3,9      |
| 0,45      | 3               | 3,6      |
| 0,45      | 4               | 3,5      |
|           | Média           | 3,7      |

**Gráfico 4.7 - Resistência à Compressão da argamassa de gesso/EVA****Tabela 4.15 – Resistência à Compressão da argamassa de gesso/Vermiculita**

| Fator a/g | Corpos de Prova | RC (MPa) |
|-----------|-----------------|----------|
| 0,64      | 1               | 1,0      |
| 0,64      | 2               | 1,2      |
| 0,64      | 3               | 1,2      |
| 0,64      | 4               | 1,3      |
|           | Média           | 1,17     |



**Gráfico 4.8 - Resistência à Compressão da argamassa de gesso/Vermiculita**

Obtiveram-se os valores médios para a resistência à compressão da argamassa de gesso (controle), de gesso/EVA e de gesso/vermiculita de 12,6 MPa, 3,7 MPa e 1,17 MPa, respectivamente. Nota-se que a argamassa de gesso possui maior resistência, enquanto na medida em que são adicionados EVA ou Vermiculita ocorre uma diminuição da citada resistência, embora essa diminuição seja maior quando utilizado a Vermiculita. Entretanto, ambas as argamassas estudadas possuem resistência mecânicas adequadas para fins de revestimento.

#### 4.3.3. Resistência de aderência à tração

Para se testar a resistência de aderência à tração, foram feitas três paredes de alvenaria de tijolos furados. Em cada uma delas foram aplicadas três tipos de argamassa: uma só com gesso, outra com gesso/EVA e outra com gesso/vermiculita, conforme indicam as Figuras 4.1, 4.2, e 4.3, respectivamente.

**Figura 4.1- Paredes de alvenaria de tijolos furados revestidas com argamassa de gesso**

**Figura 4.2- Parede de alvenaria de tijolos furados revestida com argamassa de gesso/EVA**



**Figura 4.3- Parede de alvenaria de tijolos furados revestida com argamassa de gesso/Vermiculita**



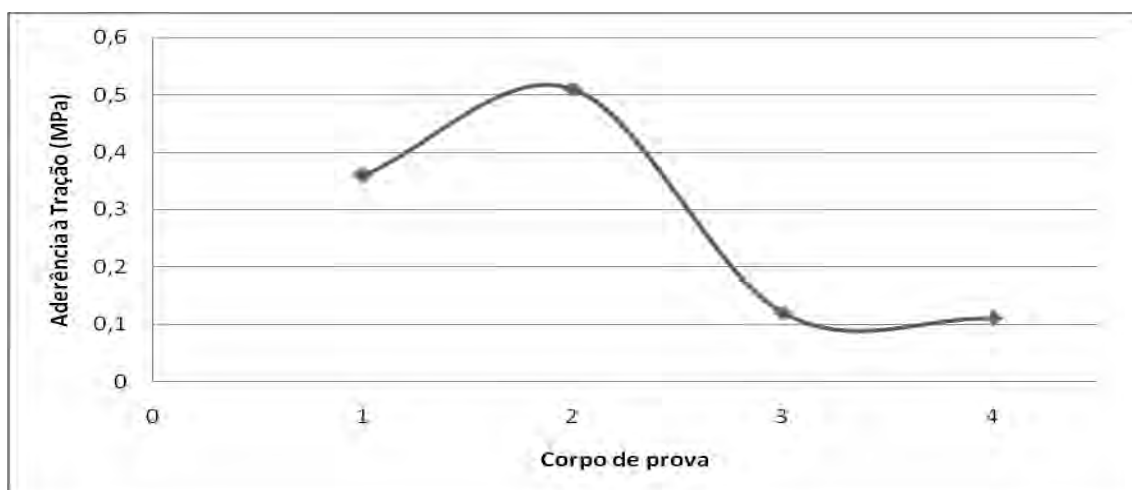
Ocorreu que na hora da aplicação da argamassa, houve necessidade de se modificar a percentagem de água e de aditivo, para se poder ter um bom acabamento no revestimento. O aditivo passou de 0,014% para 0,016%. Na argamassa de gesso/ EVA não foi necessário aumentar a água, que ficou com relação  $a/g = 0,45$ , visto que se conseguiu boa trabalhabilidade só com o aumento do aditivo. Já a argamassa de gesso precisou passar de  $a/g = 0,33$  para  $a/g = 0,45$  e a de gesso/vermiculita de  $a/g = 0,64$  para  $a/g = 0,70$ , para que fosse possível ter uma boa trabalhabilidade de aplicação.

Os resultados do ensaio de aderência constam nas Tabelas 4.16, 4.17 e 4.18, e nas curvas dos Gráficos 4.9, 4.10 e 4.11, e representado nas Figuras 4.4 e 4.5.

**Tabela 4.16 – Aderência à Tração da argamassa de gesso**

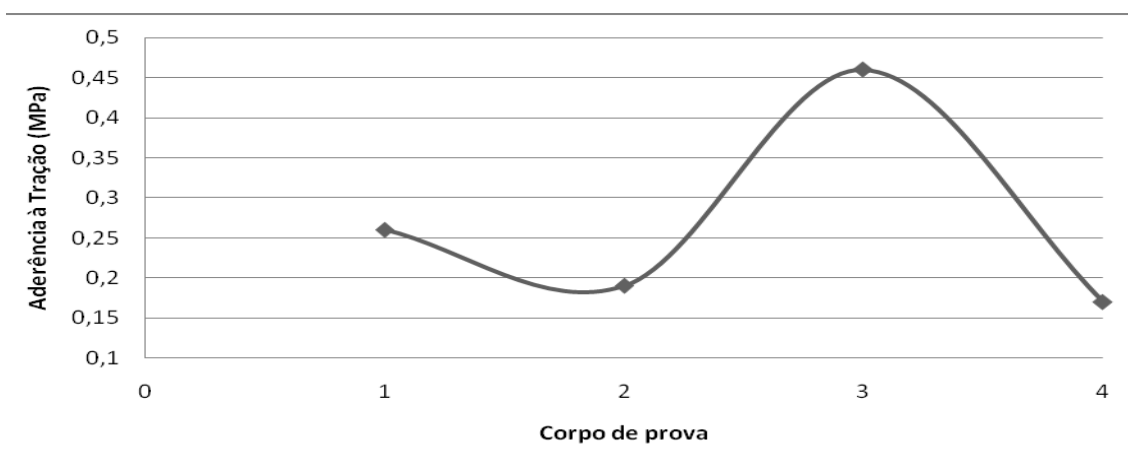
| Fator a/g | Corpos de Prova | Aderência (MPa) |
|-----------|-----------------|-----------------|
| 0,45      | 1               | 0,36            |
| 0,45      | 2               | 0,51            |
| 0,45      | 3               | 0,12            |
| 0,45      | 4               | 0,11            |
|           | Média           | 0,27            |

**Gráfico 4.9 - Aderência à Tração da argamassa de gesso (controle)**

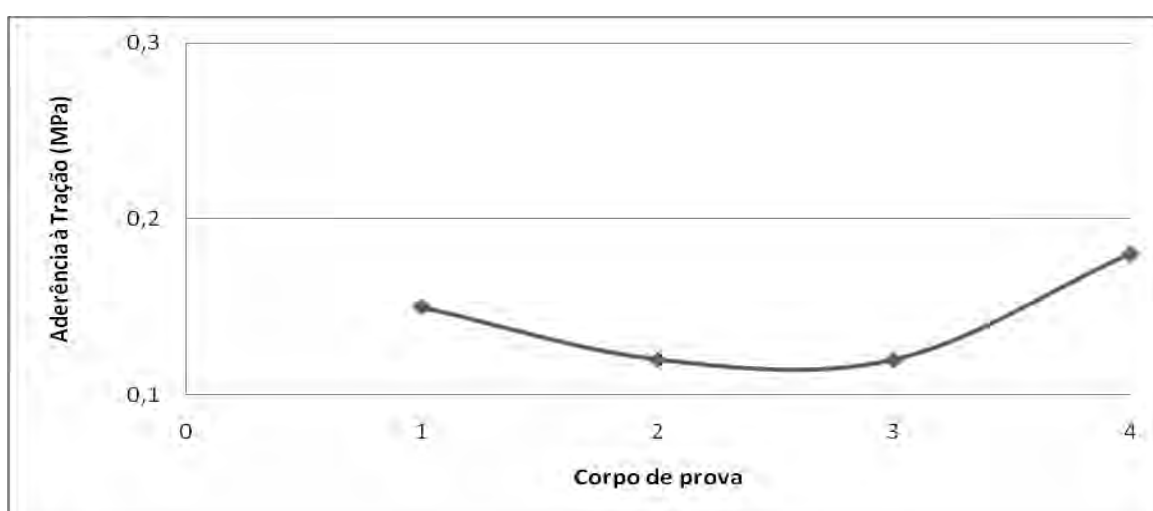


**Tabela 4.17 – Aderência à Tração da argamassa de gesso/EVA**

| Fator a/g | Corpos de Prova | Aderência (MPa) |
|-----------|-----------------|-----------------|
| 0,45      | 1               | 0,26            |
| 0,45      | 2               | 0,19            |
| 0,45      | 3               | 0,46            |
| 0,45      | 4               | 0,17            |
|           | Média           | 0,27            |

**Gráfico 4.10 - Aderência à Tração da argamassa de gesso/EVA****Tabela 4.18 – Aderência à Tração da argamassa de gesso/Vermiculita**

| Fator a/g | Corpos de Prova | Aderência (MPa) |
|-----------|-----------------|-----------------|
| 0,7       | 1               | 0,15            |
| 0,7       | 2               | 0,12            |
| 0,7       | 3               | 0,12            |
| 0,7       | 4               | 0,18            |
| Média     |                 | 0,14            |

**Gráfico 4.11 - Aderência à Tração da argamassa de gesso/Vermiculita**

**Figura 4.4- Ensaio de Aderência I****Figura 4.5- Ensaio de Aderência II**

Analisando as Tabelas e Gráficos anteriores, observa-se que a argamassa de gesso (controle) e de gesso/EVA, apresenta uma grande variabilidade nos valores obtidos. Isto pode ter acontecido devido às irregularidades nos acabamentos. No caso da argamassa/vermiculita, obteve-se uma trabalhabilidade adequada, obtendo-se um acabamento bastante uniforme. Os valores médios da



resistência de aderência à tração das argamassas de gesso, gesso/EVA e gesso/Vermiculita são de 0,27MPa, 0,27MPa e 0,14MPa, respectivamente.

#### 4.4 Propriedades Mecânicas das Argamassas com aumento do teor de aditivos

Tendo em vista que o percentual de aditivo e a relação a/g foram alteradas, foi necessário refazer os ensaios mecânicos das argamassas, cujos resultados são mostrados a seguir.

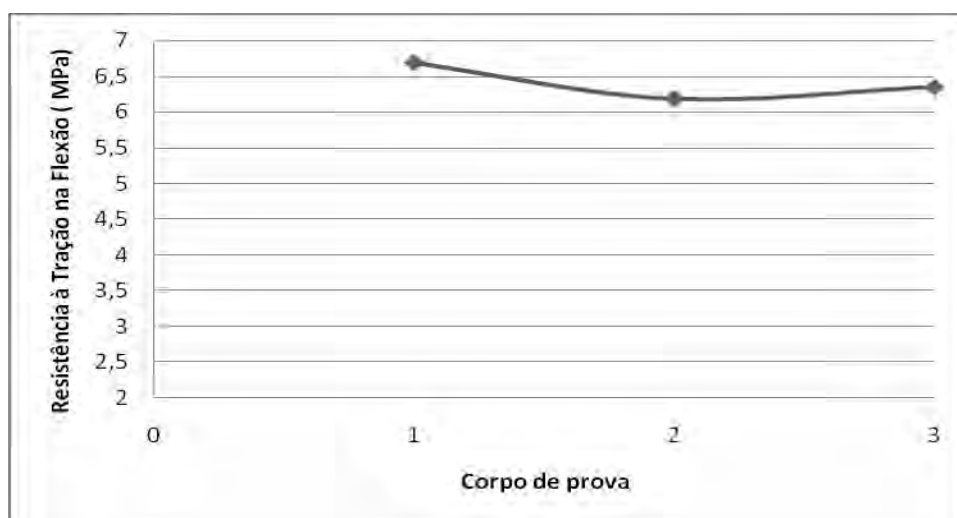
##### 4.4.1 Resistência à tração na flexão das argamassas com aumento do teor de aditivos

Os resultados da resistência à tração na flexão dos três corpos de provas e a média deles referentes à argamassa de gesso (controle), argamassa de gesso/EVA e argamassa de gesso/vermiculita, estão apresentados nas Tabelas 4.19, 4.20 e 4.21, e nas curvas dos Gráficos 4.12, 4.13 e 4.14, respectivamente

**Tabela 4.19 – Resistência à Tração na Flexão da argamassa de gesso (controle) com o aumento do teor de aditivo**

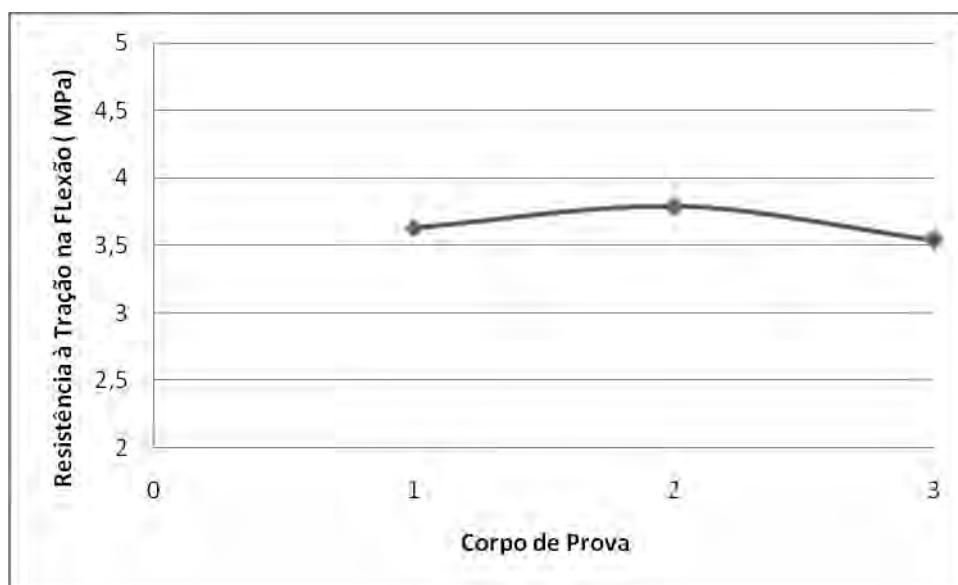
| Fator a/g | Corpos de Prova | RTF (MPa) |
|-----------|-----------------|-----------|
| 0,45      | 1               | 6,69      |
| 0,45      | 2               | 6,18      |
| 0,45      | 3               | 6,35      |
| Média     |                 | 6,4       |

**Gráfico 4.12 - Resistência à Tração na Flexão da argamassa de Gesso ( controle ) com o aumento do teor de aditivo**



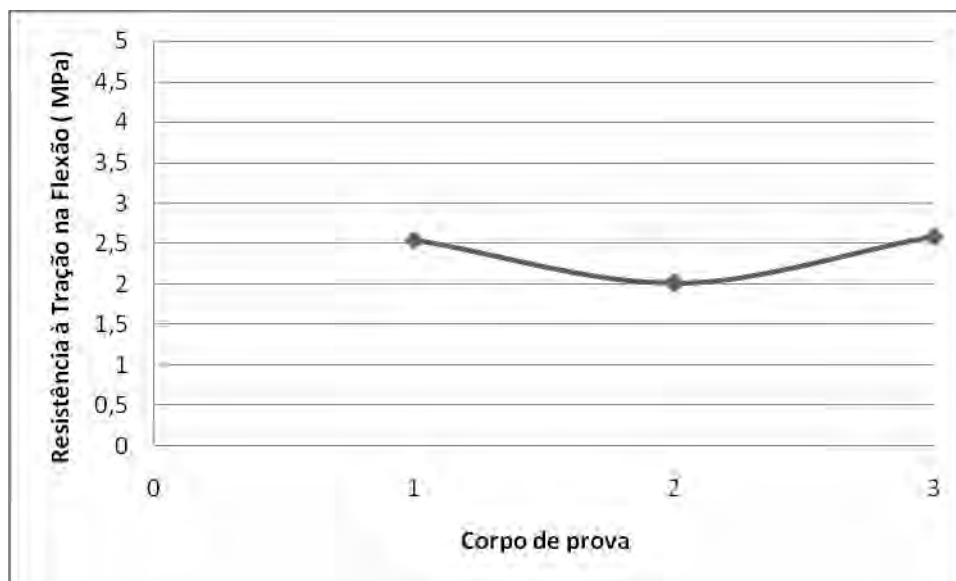
**Tabela 4.20 – Resistência à Tração na Flexão da argamassa de gesso/EVA com o aumento do teor de aditivo**

| Fator a/g | Corpos de Prova | RTF (MPa) |
|-----------|-----------------|-----------|
| 0,45      | 1               | 3,63      |
| 0,45      | 2               | 3,79      |
| 0,45      | 3               | 3,54      |
| Média     |                 | 3,65      |

**Gráfico 4.13 - Resistência à Tração na Flexão da argamassa de Gesso/EVA com o aumento do teor de aditivo****Tabela 4.21 – Resistência à Tração na Flexão da argamassa de gesso/Vermiculita com o aumento do teor de aditivo**

| Fator a/g | Corpos de Prova | RTF (MPa) |
|-----------|-----------------|-----------|
| 0,7       | 1               | 2,54      |
| 0,7       | 2               | 2,01      |
| 0,7       | 3               | 2,59      |
| Média     |                 | 2,38      |

**Gráfico 4.14 - Resistência à Tração na Flexão da argamassa de Gesso/Vermiculita com o aumento do teor de aditivo**



Obtiveram-se os valores médios para a resistência à tração na flexão da argamassa de gesso (controle), de gesso/EVA e de gesso/vermiculita de 6,4MPa, 3,65MPa e 2,38MPa, respectivamente. Nota-se que a argamassa de gesso possui melhor resistência, enquanto na medida em que são adicionados EVA ou Vermiculita ocorre uma diminuição da citada resistência, embora essa diminuição seja maior quando utilizado a Vermiculita. Esse comportamento diferente do que aconteceu no resultado da resistência à tração na flexão da argamassa antes do aumento do teor de aditivo, no qual a diminuição foi maior na composição de gesso/EVA. Entretanto, ambas as argamassas estudadas possuem resistência mecânicas adequadas para fins de revestimento.

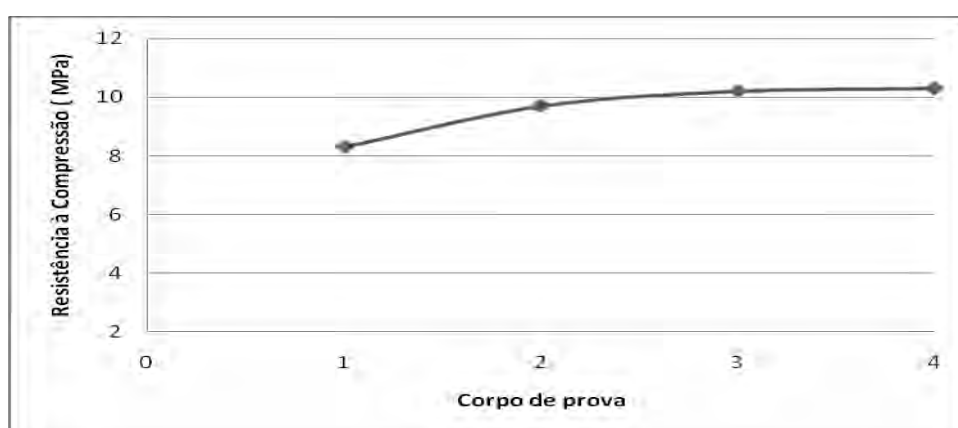
#### **4.4.2 Resistência à compressão das argamassas com aumento do teor de aditivos**

Os resultados da resistência à compressão das quatro metades dos corpos de prova e a média deles referentes à argamassa de gesso (controle), de gesso/EVA e de gesso/vermiculita, estão apresentados nas Tabelas 4.22, 4.23 e 4.24, e nas curvas dos Gráficos 4.15, 4.16 e 4.17, respectivamente.



**Tabela 4.22 – Resistência à compressão da argamassa de gesso (controle) com o aumento do teor de aditivo**

| Fator a/g | Corpos de Prova | (MPa) |
|-----------|-----------------|-------|
| 0,45      | 1               | 8,3   |
| 0,45      | 2               | 9,7   |
| 0,45      | 3               | 10,2  |
| 0,45      | 4               | 10,3  |
| Média     |                 | 9,63  |

**Gráfico 4.15 - Resistência à Compressão da argamassa de Gesso (controle) com o aumento do teor de aditivo****Tabela 4.23 – Resistência à Compressão da argamassa de gesso/EVA com o aumento do teor de aditivo**

| Fator a/g | Corpos de Prova | (MPa) |
|-----------|-----------------|-------|
| 0,45      | 1               | 4,8   |
| 0,45      | 2               | 4,4   |
| 0,45      | 3               | 4,5   |
| 0,45      | 4               | 4,0   |
| Média     |                 | 4,4   |

Gráfico 4.16 - Resistência à Compressão da argamassa de Gesso/EVA com o aumento do teor de aditivo

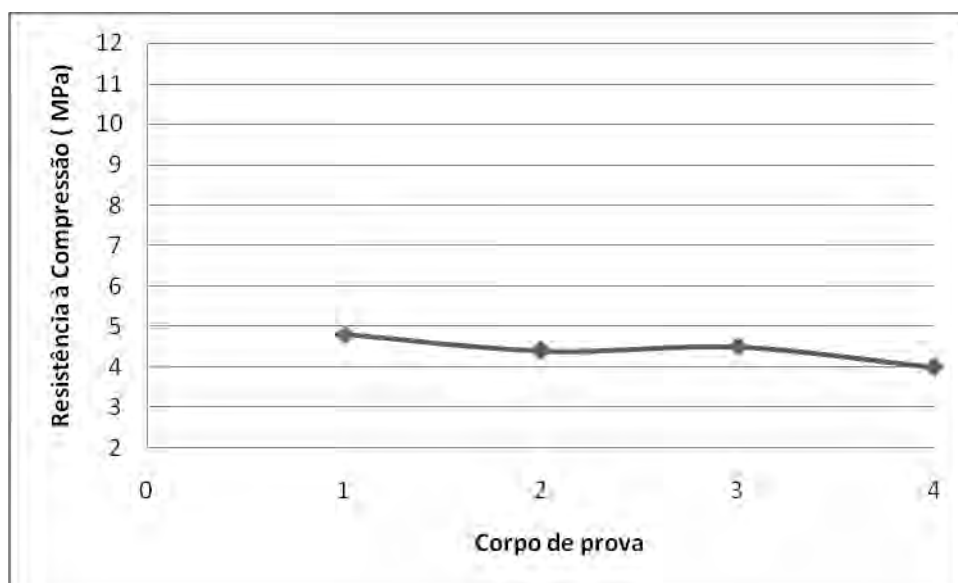
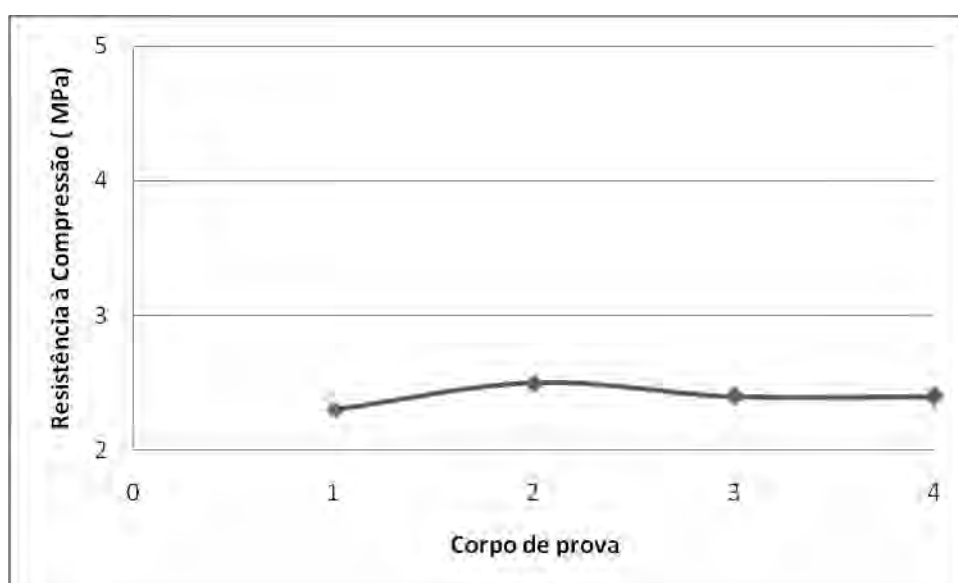


Tabela 4.24 – Resistência à compressão da argamassa de gesso/vermiculita com o aumento do teor de aditivo

| Fator a/g | Corpos de Prova | (MPa) |
|-----------|-----------------|-------|
| 0,7       | 1.2             | 2,3   |
| 0,7       | 2.1             | 2,5   |
| 0,7       | 2.2             | 2,4   |
| 0,7       | 3.1             | 2,4   |
| Média     |                 | 2,4   |

Gráfico 4.17 - Resistência à Compressão da argamassa de Gesso/Vermiculita com o aumento do teor de aditivo



Obtiveram-se os valores médios para a resistência à compressão da argamassa de gesso (controle), de gesso/EVA e de gesso/vermiculita de 9,63MPa, 4,4MPa e 2,4MPa, respectivamente. Nota-se que a argamassa de gesso possui maior resistência, enquanto na medida em que são adicionados EVA ou Vermiculita ocorre uma diminuição da citada resistência, embora essa diminuição seja maior quando utilizado a Vermiculita, Entretanto, ambas as argamassas estudadas possuem resistência mecânicas adequadas para fins de revestimento.

## 4.5 Propriedades Térmicas

### 4.5.1 Condutividade Térmica

Através do método fluxométrico foi determinada a condutividade térmica dos compósitos, mostrado no ANEXO A, cujos valores constam na Tabela 4.25.

| <b>Tabela 4.25 – Condutividade térmicas das argamassas</b> |                |
|------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Material</b>                                            | <b>k(W/mK)</b> |
| Argamassa de gesso                                         | 0,43           |
| Argamassa de gesso/EVA                                     | 0,41           |
| Argamassa de gesso/vermiculita                             | 0,22           |

Analisando a Tabela 4.25, nota-se que a argamassa de gesso e gesso/EVA possuem os valores da condutividade térmica próximos, enquanto que a argamassa de gesso/vermiculita possui o valor da condutividade praticamente a metade das outras argamassas em estudo.

## 4.6 Análise teórica do desempenho térmico das argamassas propostas em uma subestação da CHESF em Milagres-CE

A Tabela 4.26 apresenta os resultados dos cálculos do coeficiente global de transmissão de calor, e as Tabelas 4.27 , 4.28, 4.29 e 4.30 apresentam os resultados da carga térmica (Q) demonstrados no ANEXO B. O cálculo da carga térmica foi feito através de uma simulação da aplicação das argamassas convencional (referencial), com gesso, gesso/ EVA e gesso/ vermiculita, respectivamente, sobre paredes de alvenarias iguais às das subestações elétricas localizadas na região do semi-árido nordestino.

**Tabela 4.26 – Coeficiente Global de transmissão de calor**

| <b>Alvenaria</b>                             | <b>U (W/m<sup>2</sup>°C)</b> |
|----------------------------------------------|------------------------------|
| Tijolo + argamassa convencional (referencia) | 0,49                         |
| Tijolo + argamassa de gesso                  | 0,40                         |
| Tijolo + argamassa de gesso/EVA              | 0,40                         |
| Tijolo + argamassa de gesso/vermiculita      | 0,31                         |

**Tabela 4.27- Carga térmica das paredes de tijolo e revestimento da argamassa convencional (Parede Referencial)**

| <b>EDIFICAÇÃO</b>           | <b>Q (W/m<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------------------|----------------------------|
| Sala de comando             | 24,13                      |
| Cabana de réles 69kv        | 28,33                      |
| Cabana de réles 230 kv      | 28,33                      |
| Cabana de réles 500 kv      | 28,33                      |
| Sala de baterias            | 24,13                      |
| Casa de serviços auxiliares | 24,13                      |

**Tabela 4.28- Carga térmica das paredes de tijolo e revestimento da argamassa de gesso**

| <b>EDIFICAÇÃO</b>           | <b>Q (W/m<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------------------|----------------------------|
| Sala de comando             | 19,88                      |
| Cabana de réles 69kv        | 23,08                      |
| Cabana de réles 230 kv      | 23,08                      |
| Cabana de réles 500 kv      | 23,08                      |
| Sala de baterias            | 19,88                      |
| Casa de serviços auxiliares | 19,88                      |

**Tabela 4.29 - Carga térmica das paredes de tijolo e revestimento da argamassa de gesso/EVA**

| <b>EDIFICAÇÃO</b>           | <b>Q (W/m<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------------------|----------------------------|
| Sala de comando             | 19,88                      |
| Cabana de réles 69kv        | 23,08                      |
| Cabana de réles 230 kv      | 23,08                      |
| Cabana de réles 500 kv      | 23,08                      |
| Sala de baterias            | 19,88                      |
| Casa de serviços auxiliares | 19,88                      |

**Tabela 4.30 - Carga térmica das paredes de tijolo e revestimento da argamassa de gesso/vermiculita**

| <b>EDIFICAÇÃO</b>           | <b>Q (W/m<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------------------|----------------------------|
| Sala de comando             | 15,40                      |
| Cabana de réles 69kv        | 17,86                      |
| Cabana de réles 230 kv      | 17,86                      |
| Cabana de réles 500 kv      | 17,86                      |
| Sala de baterias            | 17,86                      |
| Casa de serviços auxiliares | 17,86                      |

Analisando os resultados, nota-se que utilizando o revestimento da argamassa de gesso e de gesso/EVA tem-se uma redução de 18% de carga térmica do ambiente em relação à parede de referencia. E utilizando o revestimento da argamassa de gesso/vermiculita tem-se uma redução de 36% em relação à mesma parede.

## 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Propriedades físicas

A relação água/gesso de 0,5, com um tempo de pega de 10,32 minutos, mostrou-se inadequado para a aplicação em argamassa. Verificou-se, então, a necessidade de se utilizar um aditivo. A experimentação definiu o ácido cítrico no percentual de 0,016%. Quando se verificou a consistência das argamassas com a utilização do aditivo, as argamassas de gesso e de gesso/EVA necessitaram da mesma relação água/gesso, que foi de 0,45. Entretanto quando se adicionou a vermiculita na argamassa de gesso, essa relação aumentou para 0,7; e o tempo de pega dessas argamassas variou entre 49 e 55 minutos, proporcionando uma boa trabalhabilidade do material.

A demanda de água das argamassas de gesso, como ocorre mesmo com as argamassas convencionais, pode variar com as condições ambientais. Assim, o tempo de pega, a relação água/gesso necessária, e as propriedades mecânicas podem não coincidir exatamente com aquelas aqui apresentadas. Porém, agora se tem um indicativo muito útil no caso de se desejar fazer a aplicação prática de proteção térmica das subestações do semi-árido nordestino ou em outros tipos de edificações.

### 5.2 Propriedades mecânicas

Foi verificado que o gesso de revestimento sem aditivo e com relação água/gesso 0,33 chega a uma resistência média de 17 MPa; e de acordo com o esperado, essa resistência diminuiria com adição de aditivos e de agregados, o que realmente aconteceu. Quando adicionado o aditivo, a argamassa de gesso passou a ter uma resistência média à compressão de 9,63 MPa, enquanto que a argamassa de gesso/EVA de 4,4 MPa e a de gesso/Vermiculita de 2,4 MPa. Os resultados obtidos excedem às exigências mínimas dos ensaios à compressão, que segundo Silva (2008), para argamassa de revestimento interno a resistência média à compressão é de  $\geq 1,5$  MPa e externo de  $\geq 2$  MPa, o que mostra que sob o ponto de vista desse parâmetro, as argamassas podem ser utilizadas para revestimentos internos e externos.

No que se refere aos ensaios à tração na flexão foi verificado que o gesso de revestimento sem aditivo e com relação água/gesso de 0,33 possui uma resistência média de 6,3 MPa e quando acrescentando o aditivo na argamassa de gesso, o valor da resistência, diferentemente do esperado,

teve um pequeno aumento para 6,4 MPa. Entretanto, quando adicionado na argamassa de gesso e EVA essa resistência diminuiu para 3,65MPa; e quando adicionada a vermiculita passou a ser de 2,38MPa. Esse comportamento confirma o esperado, que é a resistência diminuir com a adição dos agregados. De acordo com a NBR 13281/2005, as argamassas de gesso, gesso/EVA e gesso/Vermiculita, classificam-se, segundo a resistência a tração na flexão, em R6, R5 e R4, respectivamente.

Em se tratando do ensaio de aderência à tração, diferentemente do esperado, com relação às argamassas de gesso e gesso/EVA obtiveram-se a mesma aderência que foi de 0,27MPa; enquanto na argamassa de gesso/vermiculita obteve-se uma aderência de 0,14MPa, porém com melhor trabalhabilidade e sem qualquer prejuízo na sua aplicação. De acordo com a NBR 13281/2005, as argamassas de gesso, gesso/EVA e gesso/Vermiculita, classificam-se segundo a aderência à tração em A3, A3 e A1, respectivamente.

### **5.3 Propriedades térmicas**

Na análise da condutividade térmica das argamassas observou-se que estas possuem características de isolantes térmicas, pois suas condutividades foram baixas comparadas às dos materiais de construção em geral. A argamassa de gesso possui condutividade térmica de 0,43 W/mK, enquanto que de gesso/EVA tem 0,41 W/mK, o que mostra valores aproximados. Entretanto, a argamassa de gesso/Vermiculita apresentou menor condutividade térmica: 0,22 W/mK.

Segundo Coutinho (2005) a argamassa de cimento- areia tem condutividade acerca de 1,15 W/mK. Nota-se a significativa redução do isolamento térmico que as argamassas em estudo causam em relação às argamassas convencionais.

### **5.4 Ponto de vista termoambiental**

Na análise teórica do desempenho térmico das perspectivas de aplicação dos materiais estudados, comparou-se o fluxo de calor através de uma parede de alvenaria revestida de argamassa convencional com o fluxo de calor através dessa mesma parede, porém revestida com as argamassas em estudo (gesso, gesso/EVA e gesso/Vermiculita), respectivamente. Foi considerado o desempenho térmico em regime permanente, e no cálculo da carga térmica levando em considerações as condições de conforto térmico de acordo com a NBR-6401, pensando na saúde e no conforto das pessoas que trabalham nesses ambientes. Os resultados obtidos mostram que em ambientes de parede de alvenaria com revestimento das argamassas de gesso e de gesso/EVA têm

uma redução de 18% em relação à parede de alvenaria revestida com argamassa convencional. Esse resultado foi surpreendente, pois esperava-se que a argamassa de gesso/EVA tivesse um isolamento maior do que a de gesso puro, haja vista a inclusão ao gesso de um material de menor condutividade. E utilizando o revestimento da argamassa de gesso/vermiculita obteve-se uma redução de 36% em relação à parede de referência. Assim, dentre as argamassas estudadas a de gesso/Vermiculita é a que possibilita melhor isolamento térmico.

### **5.5 Aspectos ecológicos**

O gesso é um bom material para execução de argamassas para proteção térmica, sendo ainda ecologicamente menos agressivas que às baseadas em cimento Portland. Isto porque para a produção do cimento Portland é necessário um aquecimento na faixa de 1450°C, enquanto para a produção do gesso esse aquecimento é na faixa de 160°C a 180°C. Por outro lado, a adição de EVA ao gesso pode promover uma grande redução daquele material não degradável na natureza, sem perda das propriedades de isolamento térmico.

### **5.6 Economia de energia proporcionada pelo das argamassas em estudo**

Ao longo dos últimos tempos, o consumo de energia elétrica aumentou consideravelmente e existe uma ameaça de que a quantidade de energia produzida possa não vir a suprir a demanda futura, caso o consumo continue crescendo na razão atual. Dessa forma, as soluções construtivas que reduzam o consumo de energia devem ser buscadas, pois, não é possível atender a um consumidor cada vez mais ávido por energia, em um mundo com limitações na sua produção e incapaz de suprir essa demanda.

A função primordial de uma edificação é propiciar abrigo e criar condições de conforto internas mais favoráveis que aquelas do meio exterior, permitindo que essas condições sejam ajustadas conforme as variações do exterior e no interior, bem como das necessidades do indivíduo. Deve-se levar em consideração que uma edificação com paredes que ganhem menos calor do exterior, consomem menos energia nos processos de condicionamento térmico. Isto representa não só menor gasto com energia, mas a disponibilização de uma parcela de energia que seria consumida caso se utilizasse materiais termicamente inadequados. A escolha de materiais de menor condutividade térmica, como as argamassas de gesso, gesso/EVA e gesso/vermiculita, particularmente esta última, favorece não somente as condições de conforto e de saúde dos ocupantes, como, ainda, representa uma redução no consumo de energia.



## **5.7 Necessidade de estudos futuros**

O presente trabalho é apenas um início para outros experimentos mais avançados, no sentido de determinar a condutividade térmica de misturas com materiais que possam ser adicionados ao gesso, tais como PET, isopor e outros conhecidos como não convencionais. Dessa forma, é possível promover a redução de ganhos térmicos, contribuir para a diminuição do consumo de energia e proporcionar maior conforto para as pessoas.

## REFERÊNCIAS

ABICALÇADOS – Resenha Estatística 2011. Disponível em:  
[www.abicalcados.com.br/documentos/resenha\\_estatistica/Resenha%20Estatística%202011.pdf](http://www.abicalcados.com.br/documentos/resenha_estatistica/Resenha%20Estatística%202011.pdf)

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- requisitos. NBR13281/2001. Rio de Janeiro, 2001. 3p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: terminologia: NBR 13529/1995. Rio de Janeiro, 1995. 8p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gesso para construção civil: especificação. NBR 13207. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: Especificação. NBR 13749/1996. Rio de Janeiro, 1996. 6p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gesso para construção civil: determinação das propriedades físicas do pó. NBR 12127. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Vermiculita expandida – análise granulométrica. NBR 11355. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado no estado solto – determinação da massa unitária. NBR 7251. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – determinação da composição granulométrica. NBR 7217. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gesso para construção civil: determinação das propriedades físicas da pasta. NBR 12128. Rio de Janeiro, 1991.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Cimento Portland- Determinação da resistência à compressão. NBR 7215. Rio de Janeiro. 1996

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas– Determinação da resistência de aderência à tração- NBR 13528. Rio de Janeiro. 1995.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Instalações centrais de ar-condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto. NBR 6401. Rio de Janeiro. 1980.

ADAM, Roberto Sabatella. Princípios do Ecoedifício: Interação entre ecologia, consciência e edifício. Editora A. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=dFL9q-HmdwMC&pg=PA43&dq=%22conforto+t%C3%A9rmico%22#PPP1,M1>>. Acesso em: 09 fev. 2009.

ALMEIDA, Luiz Paulo Aragão de. Viabilidade técnica do uso de concreto adicionado de PET triturado na fabricação de residências. Dissertação de Mestrado. 96p. PPGEF-UFPB. João Pessoa. 2011.

ANTUNES, Rubiane Paz do Nascimento. Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso. Dissertação de M.Sc. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 145p.1999

ARAÚJO, R.C.L; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. G. A. Materiais de Construção. Rio de Janeiro, Editora Universidade Rural, 2000. 203p. (Coleção Construções Rurais, 1)

ASHRAE STANDARD 55. Thermal environmental condition for human occupancy american. 2004.

BALTAR, C. A. M., BASTOS, F. F., LUZ, A. B. Gipsita . Comunicação Técnica elaborada para edição do livro Rochas & Minerais Industriais: Uso e Especificações, pp. 449-470, CETEM, Rio de Janeiro. 2005.

BARBOSA, Mônica Pinto. Introdução à Ciências dos materiais aplicados à Engenharia Civil. Argamassa e tipos de concretos. UNESP. Ilha Solteira. São Paulo. 2011. Disponível em: [www.dec.feis.unesp.br/monica](http://www.dec.feis.unesp.br/monica)

BARBOSA, Normando Perazzo. Considerações sobre materiais de construção industrializados e não-convencionais. PPGEUA. 2005. Disponível em:  
[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/cab3f008df2e175e03256d110062efc4/ea11034835b5a7a603256f9b004cb3f4/\\$FILE/NT000A36D2.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/cab3f008df2e175e03256d110062efc4/ea11034835b5a7a603256f9b004cb3f4/$FILE/NT000A36D2.pdf)

BONATES, M. F. Análise da influência do projeto arquitetônico no conforto lumínico – estudo de caso. 2002. Relatório de Iniciação Científica. Departamento de Engenharia de Produção, UFPB, João Pessoa.

BELLUCIO, Ellen Kellen. Influência da rugosidade superficial e o uso de novos tipos de fibras e almofadas para ligações de concreto pré-moldado. Dissertação de Msc. Escola de engenharia de São Paulo. São Carlos. São Paulo. 2010.

BESSA, Kleiber Lima. Redução de Arrasto por adição de polímeros em escoamento pulsátil laminar e turbulento em leitos arteriais caudais de ratos normotensos e hipertensos e tubos rígidos. Tese da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

BEZERRA, A. J. V., 2002, Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 115p.

CARASEK, Helena. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, IBRACON, 2007.

CARDOSO, Fábio Alonso; PILEGGI, Rafael Giuliano; JOHN, Wanderley Moacyr. Método de formulação de argamassa de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 2010. Disponível em:  
<http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF2010/BT545.pdf>

CATAI, Rodrigo Eduardo; PENTEADO, André Padilha; DALBELLO, Paula Ferraretto. Materiais, Técnicas e Processos para Isolamento Acústico. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

CAVALCANTI, E. E. N., DNPM/PI, 2008, Vermiculita. Disponível em:  
[www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/sumariomineral2008/vermiculita.pdf](http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/sumariomineral2008/vermiculita.pdf).

ÇENGEL, Y. A. Heat and mass transfer – A practical approach. 3 edição. McGraw-Hill, New York. 2007.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. – “Thermodynamics – An Engineering Approach – Editora McGraw-Hill, New York, 2008.

ÇENGEL, Y. A. BOLES, M. A., Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th ed, McGraw-Hill, 2006.

CEOTTO, Luiz Henrique; BANDUK Ragueb C.; NAKAKURA, Elza Hissae. Revestimentos de Argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação. Recomendações Técnicas Habitar, v. 1 96p. Porto Alegre : ANTAC, 2005.

CINCOTTO, Maria Alba; HENAO, Ângela Maria Hincapie. Seleção de Substâncias Retardadoras do Tempo de Pega do Gesso de Construção. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 1997.

COUTINHO, Antonio Souto. Conforto e Insalubridade Térmica em Ambiente de Trabalho – 2a Edição. João Pessoa. Editora Universitária. 2005.

Creder, Hélio. Instalações de Ar Condicionado. 6º edição. Editora LTC. Rio de Janeiro- RJ. 2004. 318pg.

EIRES, R. JALALI, S. CAMÕES, A. Novos Materiais de Construção à base de gesso e desperdícios industriais. 3º Congresso Nacional de Construção. Universidade de Coimbra. Portugal. 2007. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/7556>

FALCÃO, Christianne ; Villarouco, Vilma ; Soares, Marcelo M . Avaliação Ergonômica do Ambiente Construído: Estudo de caso em uma biblioteca universitária. Ação Ergonômica, v. 4, p. 05-25, 2009.

FERREIRA, Carlos Renê Gomes. Análise de propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de argamassa e resíduos de borracha. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências exatas e da Terra. Programa de Pós-graduação em Ciências e Eng. De Materiais. Dissertação de mestrado. Natal. 2009.

FERREIRA, Daniel César Santana. FORTES, Adriano Silva. Avaliação da viabilidade de projeção do gesso. 2009. Disponível em: [http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/ART\\_100109.pdf](http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/ART_100109.pdf)

FIGUEIREDO, J ; RIBEIRO, L; MONT'ALVÃO, C. A Ergonomia na Arquitetura: acrescentando conhecimentos no projeto de ambiente construído In: PROJETAR 2003 - I Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura. Natal, RN. 2003.

GALERT, G. Aproveitamento de resíduos de EVA (ethylene vinyl acetate) como agregado para concreto leve na construção civil. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998. 146p.

GEROLLA, Giovanny. Acabamento Projetado. Revista TECHNE. Ed. 131. Fev. 2008. Disponível em [www.drywall.org.br/imprensa.php/dl/441](http://www.drywall.org.br/imprensa.php/dl/441)

GIACOBBE, Silvia. Estudo do Comportamento físico –mecânico do concreto de cimento portland com adição de borracha de pneus. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 1991.

GOMES, Leila Verônica da Rocha. Estudo de Método de Ensaio e comportamento físico e mecânico de argamassas para rejuntamento. Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2008

GÜTHS, S. Um método transiente para determinação de propriedades térmicas. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC. Florianópolis. 1990.

GÜTHS, S; PHILIPPI, P. C.; GAVIOT, E. e THERY, P. Um transdutor de fluxo de calor a gradiente tangencial. Anais do XI Congresso Brasileiro em Engenharia Mecânica (COBEM), Belo Horizonte. 1995.

IEA (International Ergonomics Association), 2011. What is Ergonomics. Disponível em: [http://www.iea.cc/browse.php?contID=what\\_is\\_ergonomics](http://www.iea.cc/browse.php?contID=what_is_ergonomics). Último acesso em Janeiro de 2012.

ILDEFONSO, Jesner Sereni. Análise da viabilidade técnica da utilização do copolímero etileno acetato de vinila (EVA) descartado pela indústria calçadista em misturas asfálticas (processo seco). Dissertação de mestrado . Escola de Engenharia de São Carlos. 2007.

INCROPERA, F. P., DeWITT, D. P., 2008, Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 2 ed. Editora LTC.

KARASHIMA, Thiago Machado. Avaliação de diferentes ferramentas para o cálculo de carga térmica e sua aplicação na análise energética de edifícios. Monografia do curso de Engenharia Civil. Universidade de Brasília. 2006.

KARWOWSKI, Waldemar, 2006. International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors. Florida: Taylor & Francis.

KAZMIERCZAK, C. S., KERN, A. P., SANTOS, I. S. S. et al., 2000, Resíduos de contrafortes termoplásticos provenientes da indústria coureiro-calçadista. Coletânea Habitare. Utilização de resíduos na construção habitacional, v. 4, pp. 124-175.

LAMBERT, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo: PW, 1997.

LEAL, A. F. Utilização de Resíduos das Indústrias de Cerâmicas e de Calçados na Elaboração de Materiais e Produtos a Base de Cimento Portland Reforçados com Fibras de Sisal. 2004. 120 f. Tese de Doutorado. UFCG/CCT, Campina Grande, 2004.

LIMA, Francisco Sales Neves de Souza. Aproveitamento de Resíduos de Construção na Fabricação de Argamassas. João Pessoa, 2005. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)- Universidade Federal da Paraíba, 2005.

LULA, Cristiano Cartaxo de Mello; SILVA, Luiz Bueno da. O Conforto ambiental e a motivação: implicações no desempenho de alunos em ambientes climatizados. Disponível em: [http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/d086c43daf01071b03256ebe004897a0/4647264613e2db7b03256fb000691c43/\\$FILE/NT000A47AE.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/d086c43daf01071b03256ebe004897a0/4647264613e2db7b03256fb000691c43/$FILE/NT000A47AE.pdf)

MACAMBIRA, Paulo Marcelo Fecury. O concreto em Belém do Pará: Uma visão analítica de seus componentes, mão-de-obra e patologias. Monografia de Engenharia Civil. Universidade Amazônia-UNAMA. 2001

MACIEL, Luciana Leone. BARROS, Mércia M.S. Bottura. SABBATIBI, Fernando Henrique. Recomendações para a execução de revestimentos de argamassas para paredes e vedação interna e exteriores e tetos. São Paulo. 1998. Disponível em: <http://pcc2436.pcc.usp.br/Textost%C3%A9nicos/Revestimentos%20verticais/aula%205%202005%20texto%20argamassa.PDF>

MANSUR, Alexandra A.P; NASCIMENTO, Otávio Luiz e MANSUR, Herman S. Physico-chemical characterization of EVA-modified mortar and porcelain tiles interfaces. Cement and Concrete Research, Vol. 39, nº 12, Pag 1199-1208. December, 2009.

MASSARD, Henrique; PINTO, Cláudio S.C.; COUTO, Paulo; ORLANDE, Paulo; ORLANDE, Helcio R.B.; COTTO, Renato M. Análise de propriedades termofísicas pelo método flash. Instituto Politécnico. Nova Friburgo. 2004.

MICHELS, Caren. Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes. 2007. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MIRANDA, Leonardo F.R.; SELMO, Silva M. S. Influência das propriedades mecânicas na fissuração de revestimentos com RCD. In: Simpósio Brasileiro De Tecnologia Em Argamassa, 5, São Paulo. Anais... São Paulo: POLI/USP, 2003, p. 583-593.

MONTE, Rosamaria Gomes do. Uma análise comparativa dos aspectos dimensionais de códigos de obras e edificações sob o enfoque da ergonomia. Recife. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal da Pernambuco.

MONTEIRO, José M. AGUIAR, José B. BRAGANÇA, Luís M. GOMES, Jaime R. SANTOS, Pedro. Argamassas com Desempenho Térmico Melhorado. I Congresso Nacional de Argamassa de Construção. Lisboa 2005. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/5079>

MORA, Nora Diaz. Apostila de Materiais Elétricos. Unioeste. Foz do Iguaçu. 2010. Disponível em: <http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais/materiaiscap13.pdf>

NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S. Educação, meio ambiente e conforto térmico: Caminhos que se cruzam. Revista. Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental. V. 10, pp 104-108, 2003.

OLIVEIRA, Lucas Santos Menezes ; UGARTE, José Fernandes De Oliveira. Utilização da vermiculita como adsorvente de óleo da indústria petrolífera. Publicação do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. Disponível em: [http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie\\_anais\\_XII\\_jic\\_2004/21Artigo%20JIC%202004%20Lucas%20Santos%20e%20Jose%20Ugarte.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XII_jic_2004/21Artigo%20JIC%202004%20Lucas%20Santos%20e%20Jose%20Ugarte.pdf).

OLIVEIRA, Marília Pereira. Materiais compósitos à base de gesso contendo eva (etileno acetato de vinila) e vermiculita: otimização de misturas e propriedades termomecânicas. Tese de D.Sc., PPGEUA/UFPB, João Pessoa. Paraíba. 2009



PERALTA, Marvin Marco Chambi. Tratamento químico de uma vermiculita visando seu uso em compósitos de polipropileno. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2009.

PIMENTEL, U H O – Utilização de resíduos da indústria de calados em blocos de vedação com novas geometrias – bloco EVANG. Dissertação PPGEU, UFPB, 2005

POLARI FILHO, R S – Contribuição ao processo de reciclagem de resíduos da indústria de calçados na construção civil: boco EVA – uma alternativa às alvenarias das construções. Dissertação PPGEU, UFPB, 2005.

POTTER, M.J. Vermiculite. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. 2008.186-187 p. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2008/mcs2008.pdf>.

REIS, E. Levantamento da situação e das carências tecnológicas dos minerais industriais brasileiros com enfoque na mineração de : Argila para cerâmica, barita, bentonita, caulim para talco/ agalmatolito e vermiculita. Ministério de Ciência e Tecnologia, 2001. Disponível em: [www.cgee.org.br/atividades/redirect/1330](http://www.cgee.org.br/atividades/redirect/1330)

REIS, E., Vermiculita no Brasil – Situação Atual. Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2002.

RESENDE, Sheyla Rodrigues de. Adaptação de um modelo de avaliação de desempenho para produtos: O caso de isolantes térmicos desenvolvidos para aplicação nas subestações elétricas do nordeste brasileiro. Dissertação de Mestrado. PPGEU-UFPB. João Pessoa. 2011.

RIBEIRO, Abrahão Severo. Produção de gesso reciclado a partir de resíduos oriundos da Construção Civil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. PPGEUA, João Pessoa. Paraíba. 86p. 2006

SANTOS, Heraldo Barbosa dos. Ensaio de Aderência das argamassas de revestimentos (monografia do curso de especialização em construção civil). Escola de Engenharia de UFMG. Belo Horizonte. Dez-2008.

SANTOS, A. F, S.; AGNELLI, J. Á. M.; MANRICH, S. Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas. Polímeros Ciência e Tecnologia. Vol.15, nº 1. São Carlos. Jan./Mar. 2005.

SANTOS, J. E. G.; SANTOS FILHO. A. G. Conforto Térmico: Uma Avaliação em Tratores Agrícola sem Cabine. In: XI SIMPEP- Bauru. SP. 2004.

SANTOS, Romeo Ferreira dos. A arquitetura e a eficiência nos usos finais de energia para o conforto ambiental. 2002. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.

SILVA, Luiz Bueno da. Análise da relação entre produtividade e conforto térmico: O caso dos digitadores do centro de processamento de dados da Caixa Econômica Federal de Pernambuco. Tese de Doutorado- PPGEF-UFSC. Florianópolis. 2001.

SIMIONI, W. S. Análise de Erros na Medição de Condutividade Térmica de Materiais Através do Método Fluximétrico. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 116. 2005.

SILVA, Antônio Sérgio Ramos da. Argamassas: Conceitos, tipos e funções. Comunidade da Construção: Sistema à base de cimento. Salvador. 2008.

SOARES FILHO, R. P., MELO, A. B., FEITOZA, M. M., et al., 2005, Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil: Bloco de EVA uma alternativa às alvenarias das construções. In: 47 Congresso Brasileiro do Concreto, pp. 552-567, Recife.

SOBRINHO, A. C. L., AMARAL, A. J. R., DANTAS, J. O. C., DNPM/PE, 2008, Gipsita. Disponível em: [www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/sumariomineral2008/gipsita.pdf](http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/sumariomineral2008/gipsita.pdf).

STANCATO, A. C., 2000, Determinação da condutividade térmica e da resistência mecânica em argamassa leve. Dissertação de M.Sc., Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 155p.

TEMOCHE-ESQUIEL, Juan F; DEIFELD, Telmo; BARROS, mércia M.B.S.; JOHN Vanderley; FRANÇA, Ricardo. Influência da Taxa de Interface nas Tensões de Origem Térmica em Revestimentos de Argamassa. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassa, 7., 2007, Recife. Anais... Recife: UFEB, 2007.

UGARTE, José Fernandes de Oliveira. MONTE, Marisa Bezerra de Mello. Série Tecnologia Ambiental: Estudo da vermiculita como adsorvente de óleo e metal pesado. Centro de tecnologia Mineral/Ministério de Ciência e Tecnologia. 2005

VANDERLEY, Jonh; ANTUNES, Rubiane. Argamassa de Gesso. Ambiente Construído, V.2, n.1, pag 29-37, Jan/Mar 2002. Porto Alegre

VERBEEK, C. J. R., DU PLESSIS, B. J. G. W., 2005, “Density and flexural strength of phosphogypsum-polymer composites”, Construction and Building Materials, n. 19, pp. 265-274.

VILLAROUCO, Vilma; ANDRETO, Luiz F.M. Avaliando desempenho de espaços de trabalho sob o enfoque da ergonomia do ambiente construído. Produção. V.18.n13. p523-539. 2008.

VILLAROUCO, V. et al.. Identificação de parâmetros para concepção de espaços ergonomicamente adequados à habitação social. Anais do 5º. Ergodesign – 5º. Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de interfaces humano-tecnologia: Produtos, programa, informação, ambiente construído. Rio de Janeiro. LEUI/PUC – Rio, 2005.

XAVIER, A. A. P. Condições de conforto térmico para estudantes de 2o grau na região de Florianópolis – Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – UFSC. Florianópolis, 1999.

ZUCCO, Lóris Ladir. Avaliação do comportamento físico-químico-mecânico de misturas cimento-cinza-casca de arroz por meio de corpos –de-prova cilíndricos e placas prensadas. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. 2007.

## ANEXO A - Método Fluxométrico para Determinação da Condutividade da Argamassa.

Florianópolis, 19 de novembro de 2010.

### Relatório de Medição da Condutividade Térmica

O presente documento apresenta resultados de medições da resistência térmica de amostras fornecidas.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, no equipamento Condutivímetro Fluxométrico, seguindo os procedimentos da Norma Técnica ISO 8301- 1991: "*Standart Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus*", mostrado esquematicamente na Figura 1.

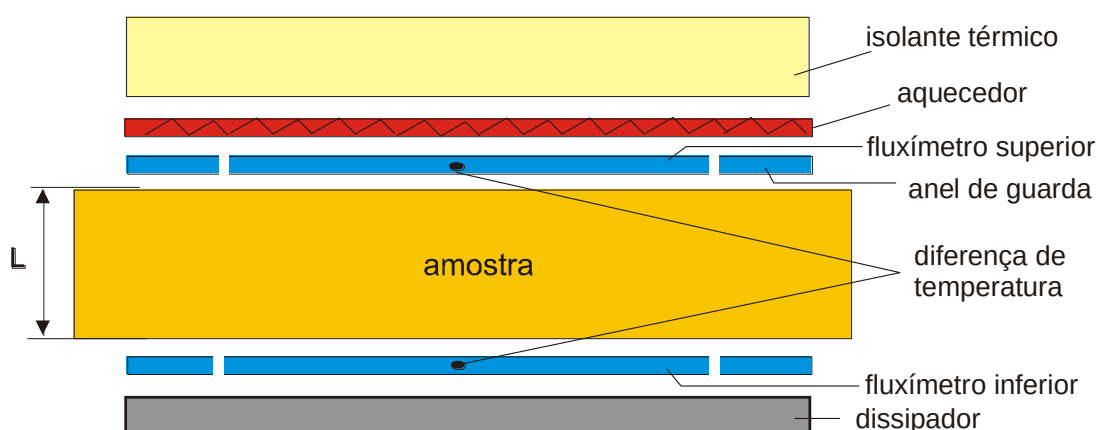


Figura 1 - Princípio do método de medição da resistência térmica

A resistência térmica é determinada a partir da lei de Fourier:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\left( \frac{q_1 + q_2}{2} \right)}$$

Onde:

$R$  = resistência térmica ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ )

$q_1$  e  $q_2$  = densidade de fluxo de calor medido pelos fluxímetros 1 e 2 ( $\text{W/m}^2$ )

$T_1$  e  $T_2$  = temperaturas superficiais da amostra medidas por termopares tipo T dispostos em arranjo diferencial.

Considerando que a amostra é homogênea, é possível determinar a **condutividade térmica** do material ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{L}{R}$$

Onde:

$\lambda$  = condutividade térmica (W/m K)

L = espessura da amostra (m).

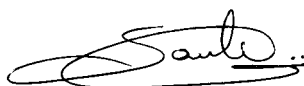
### **RESULTADO DAS MEDIÇÕES**

Data: 19/11/2010

| Amostra                   | Espessura (mm) | Condutividade Térmica (W/mK) |
|---------------------------|----------------|------------------------------|
| Argamassa de Gesso-1      | 31.4           | 0.429                        |
| Argmassa de Gesso-2       | 31.2           | 0.423                        |
| Argmassa de Gesso-3       | 31.0           | 0.426                        |
| Argmassa de Gesso/EVA-1   | 31.2           | 0.408                        |
| Argmassa de gesso/EVA- 2  | 31.8           | 0.410                        |
| Argmassa de gesso/EVA- 3  | 32.5           | 0.416                        |
| Argmassa de gesso/Verm- 1 | 32.6           | 0.230                        |
| Argmassa de gesso/Verm -2 | 33.0           | 0.231                        |
| Argmassa de gesso/Verm -3 | 32.2           | 0.211                        |

Temperatura média do ensaio = 25 °C

Incerteza de medição = 3 %



Prof. Saulo Güths

Prof. Saulo Güths (email: saulo@lmpt.ufsc.br)

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal de Santa Catarina

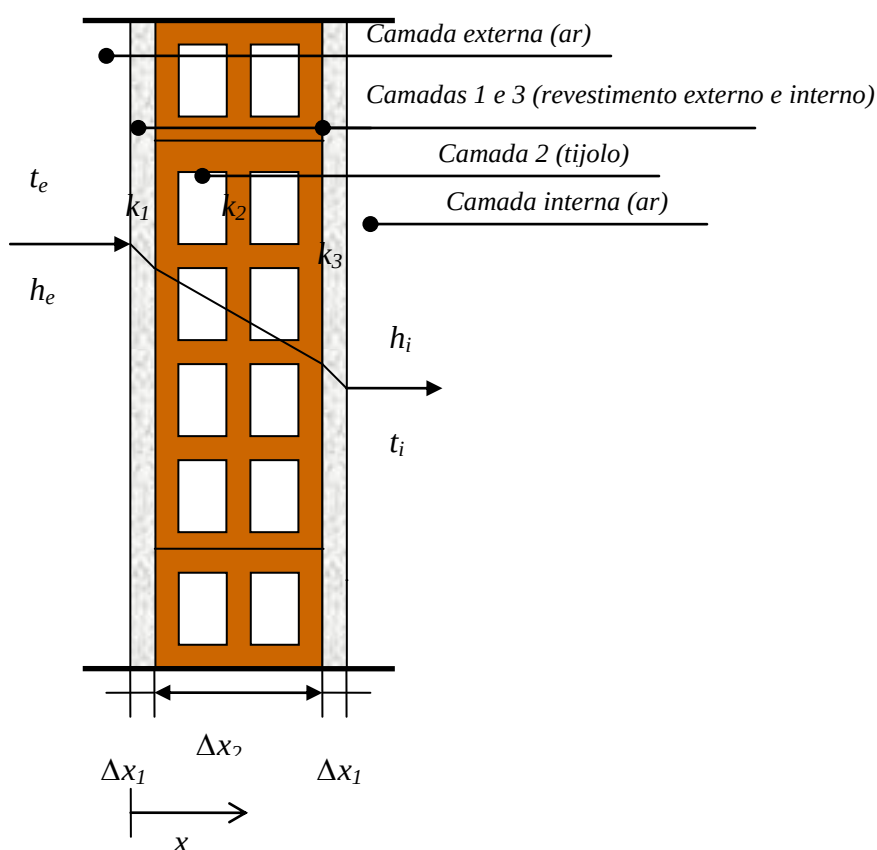
88040-900 Florianópolis / SC

Fone: (48) 3721 7709 cel: (48) 9907 557

## ANEXO B – Cálculo da Carga Térmica

### 1. CÁLCULO DO FLUXO DE CALOR ATRAVÉS DAS PAREDES PLANAS COMPOSTAS REFERENCIAL (TIJOLO + ARGAMASSA CONVENCIONAL NO REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO)

Figura II.1 – Parede Plana Composta Referencial



#### Dados:

$h_e = 22,68 \text{ W/m}^2\text{°C}$  – coeficiente de convecção térmica externa (ÇENGEL, 2002)

$h_i = 9,26 \text{ W/m}^2\text{°C}$  – coeficiente de convecção térmica interna (ÇENGEL, 2002)

$\Delta x_1 = \Delta x_3 = 0,025 \text{ m}$  (espessura da argamassa de revestimento)

$\Delta x_2 = 0,09 \text{ m}$  (espessura do tijolo cerâmico de 8 furos 9 x 19 x 19 cm)

$k_1 = k_3 = 1,15 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (argamassa de cimento e areia com espessura de 0,025 m) (LAMBERT)

$k_2 = 0,69 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (tijolo cerâmico de 8 furos) (ÖZİŞİK, 1990)

### Cálculo da resistência térmica:

**Figura II.2** – Transferência de calor da parede plana composta referencial



Inicialmente será calculado para uma área de  $(0,4 \times 1)\text{m}^2$

$$R_1 = R_E = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{22,68 \times (0,4 \times 1)} = 0,110^\circ \text{C/W}$$

$$R_3 = R_{tijolo} = \frac{\Delta x_2}{k_2 A} = \frac{0,09}{0,69 \times (0,4 \times 1)} = 0,326^\circ \text{C/W}$$

$$R_5 = R_I = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{9,26 \times (0,4 \times 1)} = 0,27^\circ \text{C/W}$$

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 0,814^\circ \text{C/W}$$

**Para um metro quadrado:**

$$R_{total} = 2,035^\circ \text{C/W}$$

**O Coeficiente Global é:**

$$U = \frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{2,035} = 0,491 \text{W/m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$$

**Cálculo da Carga térmica (Q) das paredes planas compostas sem as placas de revestimento (convencional):**

| Superfície         | Cor escura | Cor média | Cor clara |
|--------------------|------------|-----------|-----------|
| Telhado            | 25,0       | 16,6      | 8,3       |
| Parede leste/oeste | 16,6       | 11,1      | 5,5       |
| Parede norte       | 8,3        | 5,5       | 2,7       |
| Parede sul         | 0          | 0         | 0         |

Fonte: Creder (1988)

**Dados:**

$T_e = 34^\circ\text{C}$  - Temperatura média típica da região do semi-árido do nordeste de acordo com o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia)

$T_{i1} = 23^\circ\text{C}$  - Temperatura média exigidas que as seguintes salas da subestação elétrica precisam ser mantidas, devido aos equipamentos armazenados: Cabana de reles 69Kv, Cabana de reles 230Kv, Cabana de reles de 500Kv.

$T_{i2} = 25^\circ\text{C}$  - Temperatura média de condições de conforto térmico no verão para indivíduos em escritórios de acordo com a NBR-6401, para a sala de comando, e também temperatura média exigida nas seguintes salas da subestação elétrica precisam ser mantidas, devido aos equipamentos armazenados: Sala de baterias e Casa de serviços auxiliares.

**Carga Térmica para as Cabana de reles 69Kv, Cabana de reles 230Kv, Cabana de reles 500Kv:**

Parede leste:

$$Q_l = 1 \times 0,491 \times [34 - 23 + (5,5)] = 8,101 \text{ W} / \text{m}^2$$

Parede oeste:

$$Q_o = 1 \times 0,491 \times [34 - 23 + (5,5)] = 8,101 \text{ W} / \text{m}^2$$

Parede norte:

$$Q_n = 1 \times 0,491 \times [34 - 23 + (2,7)] = 6,727 \text{ W} / \text{m}^2$$

Parede sul:

$$Q_s = 1 \times 0,491 \times [34 - 23 + (0)] = 5,401 \text{ W} / \text{m}^2$$

A Carga térmica das paredes plana composta referencial é:

$$Q_{c1} = Q_l + Q_o + Q_n + Q_s = 28,33 \text{ W} / \text{m}^2$$

$$Q_{c1} = 28,33 \text{ W} / \text{m}^2$$

**Carga Térmica para a Sala de Comando, Sala de baterias e Casa de serviços auxiliares:**

Parede leste:

$$Q_l = 1 \times 0,491 \times [34 - 25 + (5,5)] = 7,119 \text{ W} / \text{m}^2$$



Parede oeste:

$$Q_o = 1 \times 0,491 \times [34 - 25 + (5,5)] = 7,119 \text{ W} / \text{m}^2$$

Parede norte:

$$Q_n = 1 \times 0,491 \times [34 - 25 + (2,7)] = 5,745 \text{ W} / \text{m}^2$$

Parede sul:

$$Q_s = 1 \times 0,491 \times [34 - 25 + (0)] = 4,419 \text{ W} / \text{m}^2$$

A Carga térmica das paredes plana composta referencial é:

$$Q_{c_2} = Q_l + Q_o + Q_n + Q_s = 24,132 \text{ W} / \text{m}^2$$

$$Q_{c_2} = 24,132 \text{ W} / \text{m}^2$$

## 2. CÁLCULO DO FLUXO DE CALOR ATRAVÉS DAS PAREDES PLANAS COMPOSTAS - CASO I (TIJOLO+ ARGAMASSA DE GESSO NO REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO)

Utilizando a Figura II.1 e Figura II. 2

**Dados:**

$k_1 = k_3 = 0,43 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  condutividade térmica da argamassa de gesso (método *fluxométrico* ) com espessura de 0,025 m.

Inicialmente será calculado para uma área de  $(0,4 \times 1) \text{m}^2$

$$R_1 = R_E = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{22,68 \times (0,4 \times 1)} = 0,110^\circ \text{C} / \text{W}$$

$$R_2 = R_4 = R_{\text{revest}} = \frac{\Delta x_{1=3}}{k_{1=3} A} = \frac{0,025}{0,43 \times (0,4 \times 1)} = 0,145^\circ \text{C} / \text{W}$$

$$R_3 = R_{\text{tijolo}} = \frac{\Delta x_2}{k_2 A} = \frac{0,09}{0,69 \times (0,4 \times 1)} = 0,326^\circ \text{C} / \text{W}$$

$$R_5 = R_l = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{9,26 \times (0,4 \times 1)} = 0,27^\circ C/W$$

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_{21} + R_3 + R_4 + R_5 = 0,996^\circ C/W$$

**Para um metro quadrado:**

$$R_{\text{total}} = 2,49^\circ C/W$$

**O Coeficiente Global é:**

$$U = \frac{1}{R_{\text{total}}} = \frac{1}{2,49} = 0,40 W / m^2 \cdot ^\circ C$$

**Cálculo da Carga térmica (Q) das paredes planas compostas caso I :**

| Superfície         | Cor escura | Cor média | Cor clara |
|--------------------|------------|-----------|-----------|
| Telhado            | 25,0       | 16,6      | 8,3       |
| Parede leste/oeste | 16,6       | 11,1      | 5,5       |
| Parede norte       | 8,3        | 5,5       | 2,7       |
| Parede sul         | 0          | 0         | 0         |

Fonte: Hélio Creder – Instalações de ar condicionado(1988)

**Dados:**

$T_e = 34^\circ C$  - Temperatura média típica da região do semi-árido do nordeste de acordo com o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia)

$T_{i1} = 23^\circ C$  - Temperatura média exigidas que as seguintes salas da subestação elétrica precisam ser mantidas, devido aos equipamentos armazenados: Cabana de reles 69Kv, Cabana de reles 230Kv, Cabana de reles de 500Kv.

$T_{i2} = 25^\circ C$  - Temperatura média de condições de conforto térmico no verão para indivíduos em escritórios de acordo com a NBR-6401, para a sala de comando, e também temperatura média exigida nas seguintes salas da subestação elétrica precisam ser mantidas, devido aos equipamentos armazenados: Sala de baterias e Casa de serviços auxiliares.

**Carga Térmica para as Cabana de reles 69Kv, Cabana de reles 230Kv, Cabana de reles 500Kv:**

Parede leste:

$$Q_l = 1 \times 0,40 \times [34 - 23 + (5,5)] = 6,61 W / m^2$$

Parede oeste:

$$Q_o = 1 \times 0,401 \times [34 - 23 + (5,5)] = 6,6 W / m^2$$

Parede norte:

$$Q_n = 1 \times 0,40 \times [34 - 23 + (2,7)] = 5,48 W / m^2$$

Parede sul:

$$Q_s = 1 \times 0,40 \times [34 - 23 + (0)] = 4,4 W / m^2$$

A Carga térmica das paredes plana composta caso I é:

$$Q_{C_1} = Q_l + Q_o + Q_n + Q_s = 23,08 W / m^2$$

$$Q_{C_1} = 23,08 W / m^2$$

**Carga Térmica para a Sala de Comando, Sala de baterias e Casa de serviços auxiliares:**

Parede leste:

$$Q_l = 1 \times 0,40 \times [34 - 25 + (5,5)] = 5,8 W / m^2$$

Parede oeste:

$$Q_o = 1 \times 0,40 \times [34 - 25 + (5,5)] = 5,8 W / m^2$$

Parede norte:

$$Q_n = 1 \times 0,40 \times [34 - 25 + (2,7)] = 4,68 W / m^2$$

Parede sul:

$$Q_s = 1 \times 0,40 \times [34 - 25 + (0)] = 3,6 \text{ W / m}^2$$

A Carga térmica das paredes plana composta caso I é:

$$Q_{c_2} = Q_l + Q_o + Q_n + Q_s = 19,88 \text{ W / m}^2$$

$$Q_{c_2} = 19,88 \text{ W / m}^2$$

**Comparação entre a carga térmica das paredes plana composta referencial com a parede plana composta caso I (tijolo + argamassa interna e externa de gesso) :**

$$\Delta Q\% = \frac{Q_c - Q_{placa}}{Q_c} \times 100 = 17,62\%$$

### 3. CÁLCULO DO FLUXO DE CALOR ATRAVÉS DAS PAREDES PLANAS COMPOSTAS - CASO II (TIJOLO+ ARGAMASSA DE GESSO/EVA NO REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO)

Utilizando a Figura II.1 e Figura II. 2

**Dados:**

$K_1 = k_3 = 0,41 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$  - condutividade térmica da argamassa de gesso/EVA (método *fluxométrico*) com espessura de 0,025 m

Inicialmente será calculado para uma área de  $(0,4 \times 1) \text{ m}^2$

$$R_1 = R_E = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{22,68 \times (0,4 \times 1)} = 0,110^\circ \text{ C / W}$$

$$R_2 = R_4 = R_{\text{revest}} = \frac{\Delta x_{1=3}}{k_{1=3} A} = \frac{0,025}{0,41 \times (0,4 \times 1)} = 0,152^\circ \text{ C / W}$$

$$R_3 = R_{\text{tijolo}} = \frac{\Delta x_2}{k_2 A} = \frac{0,09}{0,69 \times (0,4 \times 1)} = 0,326^\circ \text{ C / W}$$

$$R_5 = R_I = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{9,26 \times (0,4 \times 1)} = 0,27^\circ \text{ C / W}$$

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_{21} + R_3 + R_4 + R_5 = 1,01^\circ \text{ C / W}$$

**Para um metro quadrado:**

$$R_{total} = 2,52^{\circ}C/W$$

**O Coeficiente Global é:**

$$U = \frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{2,52} = 0,40W / m^2^{\circ}C$$

**Cálculo da Carga térmica (Q) das paredes planas compostas sem as placas de revestimento (convencional):**

| Superfície         | Cor escura | Cor média | Cor clara |
|--------------------|------------|-----------|-----------|
| Telhado            | 25,0       | 16,6      | 8,3       |
| Parede leste/oeste | 16,6       | 11,1      | 5,5       |
| Parede norte       | 8,3        | 5,5       | 2,7       |
| Parede sul         | 0          | 0         | 0         |

Fonte: Hélio Creder – Instalações de ar condicionado(1988)

**Dados:**

$T_e = 34^{\circ}C$  - Temperatura média típica da região do semi-árido do nordeste de acordo com o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia)

$T_{i1} = 23^{\circ}C$  - Temperatura média exigidas que as seguintes salas da subestação elétrica precisam ser mantidas, devido aos equipamentos armazenados: Cabana de reles 69Kv, Cabana de reles 230Kv, Cabana de reles de 500Kv.

$T_{i2} = 25^{\circ}C$  - Temperatura média de condições de conforto térmico no verão para indivíduos em escritórios de acordo com a NBR-6401, para a sala de comando, e também temperatura média exigida nas seguintes salas da subestação elétrica precisam ser mantidas, devido aos equipamentos armazenados: Sala de baterias e Casa de serviços auxiliares.

**Carga Térmica para as Cabana de reles 69Kv, Cabana de reles 230Kv, Cabana de reles 500Kv:**

Parede leste:

$$Q_l = 1 \times 0,40 \times [34 - 23 + (5,5)] = 6,61 \text{ W / m}^2$$

Parede oeste:

$$Q_o = 1 \times 0,401 \times [34 - 23 + (5,5)] = 6,6 \text{ W / m}^2$$

Parede norte:

$$Q_n = 1 \times 0,40 \times [34 - 23 + (2,7)] = 5,48 \text{ W / m}^2$$

Parede sul:

$$Q_s = 1 \times 0,40 \times [34 - 23 + (0)] = 4,4 \text{ W / m}^2$$

A Carga térmica das paredes plana composta caso II é:

$$Q_{C_1} = Q_l + Q_o + Q_n + Q_s = 23,08 \text{ W / m}^2$$

$$Q_{C_1} = 23,08 \text{ W / m}^2$$

**Carga Térmica para a Sala de Comando, Sala de baterias e Casa de serviços auxiliares:**

Parede leste:

$$Q_l = 1 \times 0,40 \times [34 - 25 + (5,5)] = 5,8 \text{ W / m}^2$$

Parede oeste:

$$Q_o = 1 \times 0,40 \times [34 - 25 + (5,5)] = 5,8 \text{ W / m}^2$$

Parede norte:

$$Q_n = 1 \times 0,40 \times [34 - 25 + (2,7)] = 4,68 \text{ W / m}^2$$

Parede sul:

$$Q_s = 1 \times 0,40 \times [34 - 25 + (0)] = 3,6 \text{ W / m}^2$$

A Carga térmica das paredes plana composta caso II é:  $Q_{C_2} = Q_l + Q_o + Q_n + Q_s = 19,88 \text{ W / m}^2$

$$Q_{C_2} = 19,88 \text{ W / m}^2$$

**Comparação entre a carga térmica das paredes plana composta referencial com a parede plana composta caso II :**

$$\Delta Q\% = \frac{Q_c - Q_{placa}}{Q_c} \times 100 = 17,62\%$$

#### 4. CÁLCULO DO FLUXO DE CALOR ATRAVÉS DAS PAREDES PLANAS COMPOSTAS - CASO III (TIJOLO+ ARGAMASSA DE GESSO/VERMICULITA NO REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO)

Utilizando a Figura II.1 e Figura II. 2

**Dados:**

$K_1 = k_3 = 0,22 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$  - condutividade térmica da argamassa de gesso/vermiculita (método *fluxométrico* ) com espessura de 0,025 m

Inicialmente será calculado para uma área de  $(0,4 \times 1)\text{m}^2$

$$R_1 = R_E = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{22,68 \times (0,4 \times 1)} = 0,110^\circ \text{C/W}$$

$$R_2 = R_4 = R_{revest} = \frac{\Delta x_{1=3}}{k_{1=3} A} = \frac{0,025}{0,22 \times (0,4 \times 1)} = 0,28^\circ \text{C/W}$$

$$R_3 = R_{tijolo} = \frac{\Delta x_2}{k_2 A} = \frac{0,09}{0,69 \times (0,4 \times 1)} = 0,326^\circ \text{C/W}$$

$$R_5 = R_I = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{9,26 \times (0,4 \times 1)} = 0,27^\circ \text{C/W}$$

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 1,27^\circ \text{C/W}$$

**Para um metro quadrado:**

$$R_{total} = 3,165^\circ \text{C/W}$$

**O Coeficiente Global é:**

$$U = \frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{3,165} = 0,31 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Cálculo da Carga térmica (Q) das paredes planas compostas caso III:**

| Superfície         | Cor escura | Cor média | Cor clara |
|--------------------|------------|-----------|-----------|
| Telhado            | 25,0       | 16,6      | 8,3       |
| Parede leste/oeste | 16,6       | 11,1      | 5,5       |
| Parede norte       | 8,3        | 5,5       | 2,7       |
| Parede sul         | 0          | 0         | 0         |

Fonte: Hélio Creder – Instalações de ar condicionado(1988)

### Dados:

$T_e = 34^\circ\text{C}$  - Temperatura média típica da região do semi-árido do nordeste de acordo com o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia)

$T_{i1} = 23^\circ\text{C}$  - Temperatura média exigidas que as seguintes salas da subestação elétrica precisam ser mantidas, devido aos equipamentos armazenados: Cabana de reles 69Kv, Cabana de reles 230Kv, Cabana de reles de 500Kv.

$T_{i2} = 25^\circ\text{C}$  - Temperatura média de condições de conforto térmico no verão para indivíduos em escritórios de acordo com a NBR-6401, para a sala de comando, e também temperatura média exigida nas seguintes salas da subestação elétrica precisam ser mantidas, devido aos equipamentos armazenados: Sala de baterias e Casa de serviços auxiliares.

### Carga Térmica para as Cabana de reles 69Kv, Cabana de reles 230Kv, Cabana de reles 500Kv:

Parede leste:

$$Q_l = 1 \times 0,31 \times [34 - 23 + (5,5)] = 5,11 \text{ W} / \text{m}^2$$

Parede oeste:

$$Q_o = 1 \times 0,31 \times [34 - 23 + (5,5)] = 5,11 \text{ W} / \text{m}^2$$

Parede norte:

$$Q_n = 1 \times 0,31 \times [34 - 23 + (2,7)] = 4,247 \text{ W} / \text{m}^2$$

Parede sul:

$$Q_s = 1 \times 0,31 \times [34 - 23 + (0)] = 3,4 \text{ W} / \text{m}^2$$

A Carga térmica das paredes plana composta caso III é:



$$Q_{c_1} = Q_l + Q_o + Q_n + Q_s = 17,86W / m^2$$

$$Q_{c_1} = 17,86W / m^2$$

**Carga Térmica para a Sala de Comando, Sala de baterias e Casa de serviços auxiliares:**

Parede leste:

$$Q_l = 1 \times 0,31 \times [34 - 25 + (5,5)] = 4,49W / m^2$$

Parede oeste:

$$Q_o = 1 \times 0,31 \times [34 - 25 + (5,5)] = 4,49W / m^2$$

Parede norte:

$$Q_n = 1 \times 0,31 \times [34 - 25 + (2,7)] = 3,63W / m^2$$

Parede sul:

$$Q_s = 1 \times 0,31 \times [34 - 25 + (0)] = 2,79W / m^2$$

A Carga térmica das paredes plana composta caso III é:

$$Q_{c_2} = Q_l + Q_o + Q_n + Q_s = 15,4W / m^2$$

$$Q_{c_2} = 15,4W / m^2$$

**Comparação entre a carga térmica das paredes plana composta referencial com a parede plana composta caso III:**

$$\Delta Q\% = \frac{Q_c - Q_{placa}}{Q_c} \times 100 = 36\%$$