



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

LUCAS AIRES DOURADO

AVALIAÇÃO DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE VERMICULITA QUANTO AO
DESEMPENHO MECÂNICO E TÉRMICO

Palmas – TO

2018

Lucas Aires Dourado

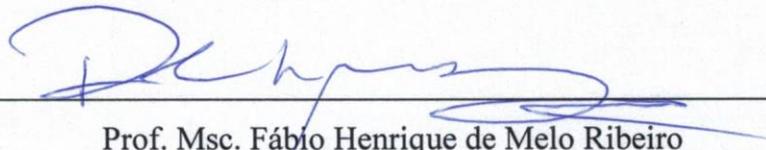
AVALIAÇÃO DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE VERMICULITA QUANTO AO
DESEMPENHO MECÂNICO E TÉRMICO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Msc. Fábio Henrique de Melo Ribeiro.

Aprovado em: 13 / 11 / 2018

BANCA EXAMINADORA

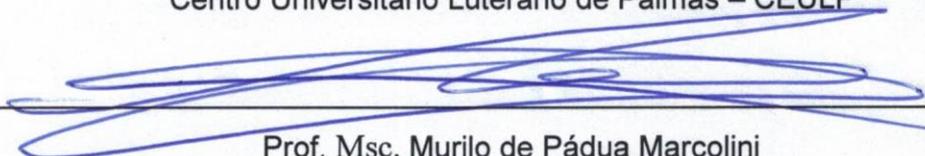


Prof. Msc. Fábio Henrique de Melo Ribeiro
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Msc. Roldão Pimentel de Araújo Junior
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Msc. Murilo de Pádua Marcolini
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter proporcionado essa trajetória para realização desse curso, por ter me dado sabedoria nos momentos difíceis;

A meu amado filho José Pedro Putêncio Dourado por ter dado um novo sentido à minha vida e por renovar minhas energias diariamente;

A minha esposa Fabiana Putêncio Correia por todas as noites em claro que enfrentamos juntos para conclusão dessa etapa, pelo carinho diário e todas as palavras de incentivo;

Aos meus pais, Joseano Carvalho Dourado e Thania Maria Fonseca Aires Dourado pelo apoio, pela compreensão nos momentos de stress, pelo incentivo constante para que a cada dia eu me torne uma pessoa melhor;

Aos meus irmãos Luciano, Taína e Rodrigo pela companhia, amizade e apoio que me deram;

A minha família por ter me apoiado e ser a base para a realização deste curso;

Aos colegas e amigos que conquistei ao longo do curso, pelas noites de estudo e pelos momentos de divertimento, sempre com foco e objetivo maior de conseguir a graduação;

A meu orientador Fábio Henrique de Melo Ribeiro, pela dedicação, empenho, orientação e informações que foram necessárias para a realização de um bom trabalho;

Aos laboratoristas e amigos do CEULP, pelo auxílio no desenvolvimento desta pesquisa;

E a todos que ajudaram e participaram direta e indiretamente na conclusão desse curso, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade o aperfeiçoamento térmico com o uso da vermiculita e para alcançar os objetivos foram verificados os resultados térmicos em três protótipos reduzidos em alvenaria com cobertura de fibrocimento sendo a camada de revestimento desses protótipos o objeto de estudo no qual apresentam diferentes porcentagem de adição de vermiculita sendo o primeiro com argamassa convencional com 0% de adição, o segundo com adição de 10% vermiculita no traço e o terceiro com adição de 20% de vermiculita. As proporções de adição foram baseadas no traço volumétrico. Os protótipos foram construídos no campus da Universidade Luterana Brasileira com sede em Palmas – TO. Realizou-se os ensaios de resistência à compressão, aderência à tração, consistência, densidade no estado fresco e densidade no estado endurecido. Após análise e discussão dos dados pode-se perceber que as argamassas com adição de vermiculita obtiveram melhor desempenho térmico conseguindo diferenças de 0,9°C de diferença na temperatura interna em relação a argamassa convencional além de serem argamassas mais leves tendo em vista que a argamassa com adição de 20% de vermiculita conseguiu ser 261 kgm^3 mais leve do que em relação a argamassa convencional.

Palavras – chave: Vermiculita. Desempenho Térmico. Argamassa

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Mapa Climático do Brasil. | 12 |
| Figura 2 - Índice Pluviométrico de Palmas. | 14 |
| Figura 3 - Temperatura da cidade de Palmas. | 14 |
| Figura 4 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro. | 16 |
| Figura 5 - Argamassa de revestimento em diferentes camadas. | 19 |
| Figura 6 - Croqui dos protótipos. | 30 |
| Figura 7 - Planta de situação | 31 |
| Figura 8 - Construção do protótipo | 31 |
| Figura 9 - Protótipos finalizados | 31 |
| Figura 10 - Preparação para o ensaio | 33 |
| Figura 11 - Equipamento | 34 |
| Figura 12 - Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco. | 34 |
| Figura 13 - Equipamento | 36 |
| Figura 14 - Espalhamento/consistência | 40 |
| Figura 15 - Resistência à compressão. | 44 |
| Figura 16 - Temperatura média em Palmas – TO entre os dias 15/10/2018 à 24/10/2018 | 47 |
| Figura 17 - Umidade e temperatura do protótipo com argamassa convencional | 47 |
| Figura 18 - Umidade e temperatura do protótipo com argamassa com adição de 10% de vermiculita. | 48 |
| Figura 19 - Umidade e temperatura do protótipo com argamassa com adição de 20% de vermiculita. | 48 |
| Figura 20 - Comparativo das temperatura entre os protótipos | 49 |
| Figura 21 - Comparativo das temperatura externas na fachada leste entre os protótipos | 50 |
| Figura 22 - Comparativo das temperatura externas na fachada oeste entre os protótipos | 50 |
| Figura 23 - Apresentação de fissura | 51 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Resistência a Compressão | 25 |
| Tabela 2 - Densidade de massa aparente no estado endurecido | 26 |
| Tabela 3 - Resistência potencial de aderência à tração | 26 |
| Tabela 4 - Densidade de massa aparente no estado fresco | 26 |
| Tabela 5 - Traços em volume para composição das argamassas estudadas | 28 |
| Tabela 6 - Exemplo de planilha para o ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco | 35 |
| Tabela 7 - Limites de resistência de aderência à tração para emboço e camada única aplicados sobre paredes | 35 |
| Tabela 8 - Espalhamento/consistência..... | 40 |
| Tabela 9 - Resistência potencial de aderência à tração | 41 |
| Tabela 10 - Ensaio de Resistência de Aderência à tração argamassa convencional | 41 |
| Tabela 11 - Ensaio de Resistência de Aderência à tração argamassa com adição de 10% de vermiculita..... | 42 |
| Tabela 12 - Ensaio de Resistência de Aderência à tração argamassa com adição de 20% de vermiculita..... | 43 |
| Tabela 13 - Resistência de Aderência à tração argamassa | 43 |
| Tabela 14 - Resistência à compressão | 44 |
| Tabela 15 - Resistência à compressão | 45 |
| Tabela 16 - Densidade de massa em estado fresco..... | 45 |
| Tabela 17 - Densidade de massa em estado endurecido..... | 46 |
| Tabela 18 - Classe conforme densidade de massa em estado endurecido..... | 46 |
| Tabela 19 - Fissuras registradas nos protótipos..... | 52 |
| Tabela 20 - Temperaturas do protótipo com argamassa convencional | 58 |
| Tabela 21 - Temperaturas do protótipo com argamassa com adição de 10% de vermiculita .. | 59 |
| Tabela 22 - Temperaturas do protótipo com argamassa com adição de 20% de vermiculita .. | 60 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 8 |
| 1.1 | OBJETIVOS..... | 10 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral | 10 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos..... | 10 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA..... | 11 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 12 |
| 2.1 | CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DO BRASIL | 12 |
| 2.1.1 | Clima Tocantins..... | 13 |
| 2.1.2 | Palmas | 13 |
| 2.2 | CONFORTO TÉRMICO | 15 |
| 2.3 | MATERIAIS | 17 |
| 2.3.1 | Bloco Cerâmico..... | 17 |
| 2.3.2 | Argamassa de Revestimento..... | 18 |
| 2.3.3 | Cimento Portland | 21 |
| 2.3.4 | Agregado | 22 |
| 2.4 | ENSAIOS | 25 |
| 2.5 | RETRAÇÃO | 27 |
| 3 | METODOLOGIA | 28 |
| 3.1 | CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA..... | 28 |
| 3.2 | DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS..... | 28 |
| 3.2.1 | Variáveis Independentes..... | 28 |
| 3.2.2 | Variáveis Dependentes..... | 29 |
| 3.3 | PROTÓTIPOS..... | 29 |
| 3.4 | MÉTODO CONSTRUTIVO..... | 30 |
| 3.5 | ARGAMASSAS | 32 |
| 3.6 | ENSAIOS | 32 |
| 3.6.1 | Ensaio de consistência..... | 32 |
| 3.6.2 | Ensaio de Aderência a Tração..... | 33 |
| 3.6.3 | Ensaio de Resistência à Compressão | 36 |
| 3.6.4 | Determinação da densidade de massa em estado fresco..... | 37 |
| 3.6.5 | Determinação da densidade de massa em estado endurecido..... | 37 |
| 3.7 | COLETA DE DADOS DE TEMPERATURA | 38 |
| 3.8 | AVALIAÇÃO DA RETRAÇÃO..... | 39 |

| | | |
|----------|------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 40 |
| 4.1 | CONSISTÊNCIA | 40 |
| 4.2 | RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA A TRAÇÃO | 41 |
| 4.3 | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO..... | 44 |
| 4.4 | DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA EM ESTADO FRESCO | 45 |
| 4.5 | DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA EM ESTADO ENDURECIDO | 46 |
| 4.6 | TEMPERATURA NOS PRÓTIPOS | 47 |
| 4.7 | RETRAÇÃO | 51 |
| 5 | CONCLUSÕES | 53 |
| 6 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 54 |
| | ANEXO..... | 57 |

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da construção civil aumentou também a responsabilidade com a utilização e preservação dos nossos recursos. Novos conceitos como sustentabilidade e desempenho foram surgindo empregando uma nova forma de os engenheiros atuarem, revisando e desenvolvendo novas Normas Brasileiras – NBRs para atenderem a essas questões.

As NBRs regem sobre as metodologias e os critérios para desenvolver projetos e executar as etapas da construção. Essas mudanças vem para atualizar a maneira como são aplicadas as novas tecnologias afim de oferecer um conforto melhor aos usuários sem prejudicar a qualidade do material quanto à durabilidade e trabalhabilidade.

A preocupação com o desempenho começou a aparecer com a primeira versão da NBR 15575:2010 - Edificações Habitacionais, que se embasou nas normas já existentes, na primeira edição a norma só contemplava edificações de até 5 pavimentos, só que não entrou em vigor nos anos subsequentes, e ficou em processo de revisão, e por fim em 2013, foi aprovada a segunda versão da NBR 15575:2013 que abrange todos os tipos de edificações habitacionais e apresenta como um dos itens da exigência do usuário quanto à habitabilidade o critério de desempenho térmico. Após a publicação da norma foi dada a atenção devida ao desempenho térmico, procurando avanços tecnológicos para o atendimento da mesma.

Diante do fator de adequação a norma, o setor tem inovado em sistemas construtivos, como a aplicação de revestimento com agregados mais leves com a finalidade de adquirir um melhor conforto térmico. Um dos materiais mais estudados como agregado leve na argamassa é a vermiculita que segundo Cintra, Paiva e Baldo (2014), devido às suas características químicas, mineralógicas e micro-estruturais, é bastante disseminado o uso de vermiculita expandida em argamassas leves, uma vez que confere propriedades interessantes tais como: diminuição de peso estrutural, ausência de toxidez, incombustibilidade, capacidade de absorção de líquidos e isolamento térmico e acústico.

As edificações devem conter características que culminem em um alto desempenho térmico, afim de que o interior da edificação não sofra com altas variações térmicas, para que a temperatura interna da edificação tenha o conforto adequado. Segundo Araújo (2001 apud DANTAS FILHO, 2004) o estudo de 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.

O território do estado do Tocantins, segundo a NBR15220-3:2005, se encontra quase em sua totalidade na zona bioclimática 7, e a norma faz recomendações no quesito térmico devido a região possuir um clima muito quente e por ter uma alta variação de clima durante o dia (diferença entre temperatura máxima e mínima durante o dia).

O empenho na busca de soluções para oferecer um melhor conforto térmico para os usuários de baixa renda é demonstrado com o aumento de pesquisas tratando da avaliação de sistemas construtivos para a habitação de interesse social no Brasil (KRÜGER, Eduardo L.; LAMBERTS, Roberto, 200).

Esses usuários são os que mais sofrem com as características ambientais pois muitas vezes residem em casas onde a vedação vertical conta apenas com acabamento em alvenaria e reboco sendo utilizados valores mínimos de cobertura o que reduz a qualidade térmica da vedação, outro fator é que essa parte da população está sujeita às condições climáticas da região com maior intensidade podendo não ter a sua disposição mecanismos que atenuem esse desconforto.

Diante do apresentado anteriormente, tendo em vista o clima da em que a cidade de Palmas – TO se enquadra, a presente pesquisa terá como objetivo estudar a influência da adição da vermiculita em argamassa de revestimento externo de camada única conforme NBR 13529:1995, para verificar a sua interferência nas características da argamassa no estado fresco e endurecido, bem como na temperatura ambiente de alguns protótipos que simularam condições de pequenas edificações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar os resultados obtidos e o comportamento da argamassa de reboco externo de camada única com adição de vermiculita na cidade de Palmas – TO quanto ao desempenho mecânico, conforto térmico e processos de fissuração.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar a influência da adição de vermiculita nas características da argamassa no estado fresco;
- Avaliar o desempenho da argamassa com vermiculita quanto ao conforto térmico comparando com a argamassa convencional;
- Analisar a influência da adição da vermiculita no estado endurecido da argamassa e sua ação na retração.

1.2 JUSTIFICATIVA

Conforme o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET a cidade de Palmas – TO apresentou temperatura 35°C como média máxima anual em 2017 com baixa umidade do ar durante alguns meses.

A NBR 15220 (2005, p.5) define como a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”. O Brasil possui diversos tipos climáticos e conseqüentemente a engenharia e a arquitetura devem se adequar para cada região, afim de, proporcionar melhor qualidade e maior conforto térmico para as moradias.

Os revestimentos representam uma parcela significativa do custo de construção de edifícios. Segundo a Revista Construção Mercado (março 2003), tais custos representam cerca de 10 a 30% do total da construção, dependendo do tipo da edificação e do seu padrão. Os revestimentos de argamassa, muitas vezes, podem representar a maior fração dos custos citados, com isso mostra-se a importância de se estudar os revestimentos das construções buscando sempre a melhor técnica, aliada com a melhor qualidade.

Nas construções de baixa renda normalmente não são empregadas soluções arquitetônicas para favorecer o conforto térmico devido ao custo elevado ficando como opção o melhoramento do revestimento vertical buscando aperfeiçoar essa característica.

Com base nessas informações e na retenção do conhecimento ao longo do curso de engenharia civil, o estudo busca melhorar a questão do conforto térmico devido sua importância para a região e favorecer a sustentabilidade reduzindo o custo do sistema estrutural e o consumo de materiais ao apresentar uma alternativa leve para a argamassa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DO BRASIL

Sobre a definição de clima o Instituto Nacional de Meteorologia (2015) diz:

O clima é um recurso natural vital ao nosso bem-estar, saúde e prosperidade. As informações coletadas, gerenciadas e analisadas ajudam tomadores de decisão e usuários a planejar e adaptar suas atividades e projetos às condições esperadas. Desta maneira, decisões podem ser tomadas no planejamento, o que reduz riscos e aperfeiçoam os benefícios socioeconômicos.

O Brasil ao todo possui três tipos de climas diferentes, porém predominam dois tipos em maior parte. Sobre a diversidade climática do Brasil o IBGE (2015) diz:

“O Brasil é um país com grande diversidade climática”. Em alguns lugares faz frio e em outro muito calor, mas em geral a temperatura é elevada em quase todo o território. Há três tipos de clima no país: equatorial, tropical e temperado. O clima equatorial abrange boa parte do território nacional, englobando principalmente a região da Floresta Amazônica, onde chove quase diariamente e faz muito calor. Já o clima tropical varia de acordo com a região, mas também é quente e com chuvas menos regulares. O sul do Brasil é a região mais fria do país. Nela predomina o clima temperado que, no inverno, pode atingir temperaturas inferiores a zero grau.

Pelo fato de no Brasil ter, além de zonas climáticas frias, como é o caso do clima temperado, encontrado principalmente na região sul do país, possui também zonas quentes, como é o caso dos climas tropical e equatorial localizados principalmente nas regiões norte e nordeste, sendo possível melhor visualização desses climas na figura 1.

Figura 1 - Mapa Climático do Brasil.



Fonte: Nimer, E. Um modelo metodológico de classificação de climas. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro: IBGE, ano 41, n. 4, p. 59-89, out./dez. 1979. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/colecao_digital_publicacoes.php>. Acesso em: mar. 2012. Adaptado.

Fonte: IBGE (2015)

2.1.1 Clima Tocantins

O Tocantins que se encontra na região norte do País, foi criado no ano de 1988, com área de 277.620,914 km², composto por 139 municípios, tem precipitação média anual de 1200 mm a 2100 mm, sua população é estimada em 1.383.445 em 2010, possui três tipos de climas: clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno; clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno e clima úmido subúmido com pequena deficiência hídrica, onde Palmas (capital do estado) é acomodada. (SEPLAN, 2012)

2.1.2 Palmas

Para a melhor compreensão e melhor esclarecimento da metodologia e dos resultados é necessário ter conhecimento das características urbanísticas e bioclimáticas da cidade de Palmas

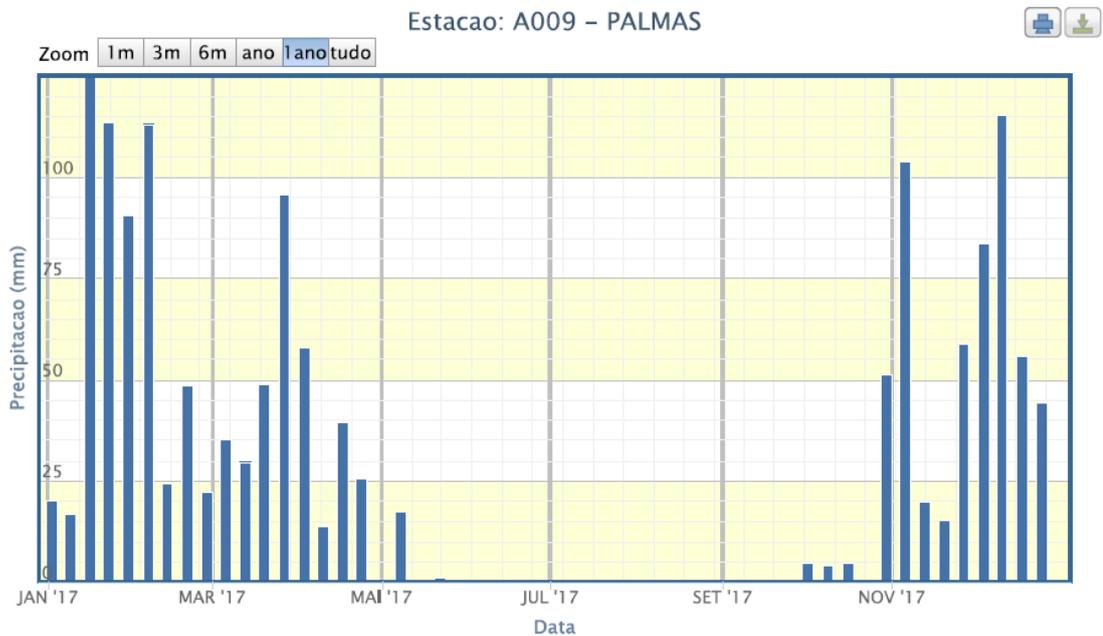
A cidade de Palmas, foi construída no centro geográfico do estado com finalidade de ser a capital do estado do Tocantins, com dimensões de 12x32 km, sendo projetada inicialmente para 2 milhões de pessoas em seu plano diretor, e para essa definição, foram realizados serviços de topografia, recursos hídricos, e conceitos urbanísticos. A quadra padrão com cerca de 700 x 700 metros podendo abrigar até 12 mil habitantes. (TEIXEIRA, 2009)

IBGE (2015) apresenta dados da população estimada para 2015 de 272.726 habitantes.

A cidade está localizada nas coordenadas geográficas de 10°12'46'' de Latitude, 48°21'37'' de Longitude, com 330 m acima do nível do mar.

Em relação ao clima, é classificada como clima úmido subúmido com pequena deficiência hídrica, onde possui evapotranspiração potencial média anual de 1600 mm (SEPLAN, 2012). E possui dois períodos bem definidos de seca e chuvoso, como pode ser observado conforme o gráfico da figura 2.

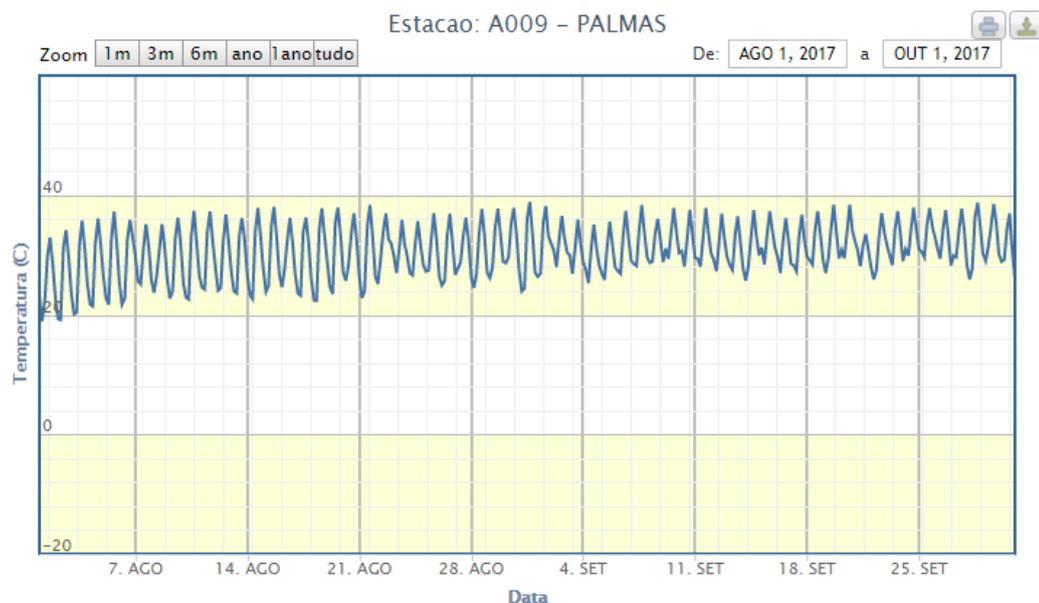
Figura 2 - Índice Pluviométrico de Palmas.



Fonte: INMET (2017)

De acordo com o gráfico da figura 3 fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), (2017) é possível ver que na estação seca, a região possui baixos índices de umidade, com temperaturas que podem chegar facilmente aos 40°C, além disso possui um alto gradiente de temperatura durante o dia, podendo ser de até 16°C, ou seja, a diferença entre a temperatura máxima e a mínima registrada durante o dia pode chegar até 16°C.

Figura 3 - Temperatura da cidade de Palmas.



Fonte: INMET (2017)

2.2 CONFORTO TÉRMICO

A NBR 15220 (2005, p.5) define como a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”. Como vimos anteriormente o Brasil, possui diversos tipos climáticos e conseqüentemente a engenharia e a arquitetura devem se adequar para cada região, afim de, proporcionar melhor qualidade e maior conforto térmico para as moradias. Sobre o assunto a CBIC (Câmara Brasileira da Industria da Construção) (2013, p.135), nos complementa:

O adequado desempenho térmico repercute no conforto das pessoas e em condições adequadas para o sono e atividades normais em uma habitação, contribuindo ainda para a economia de energia.

Com o tratamento de superfícies com intuito de conforto térmico, irá contribuir na redução de custos na conta de energia, lembrando que este tipo de investimento se reflete instantaneamente, além de, não perder essa característica ao longo do tempo. Segundo a NBR 15575 (2013), a sensação de conforto térmico depende bastante das condições de ventilação dos ambientes, as aberturas e o posicionamento das mesmas.

A respeito do tema Frota e Schiffer (2003, p.26), diz que existem três tipos de índices de conforto que podem ser analisados, são eles:

Índices biofísicos: que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos; Índices fisiológicos: que se baseiam nas relações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar; temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar; Índices subjetivos: que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

Segundo CBIC (2013), para a confecção do índice de conforto térmico é necessário observar uma gama extensa de variáveis. As mais importantes e as que maior relevância e alteram significativamente no índice são: ventilação; umidade do ar; temperatura. É certo que quanto mais variáveis a serem analisadas, o índice ficará mais real e mais confiável, nos respalda a NBR15575 (2013).

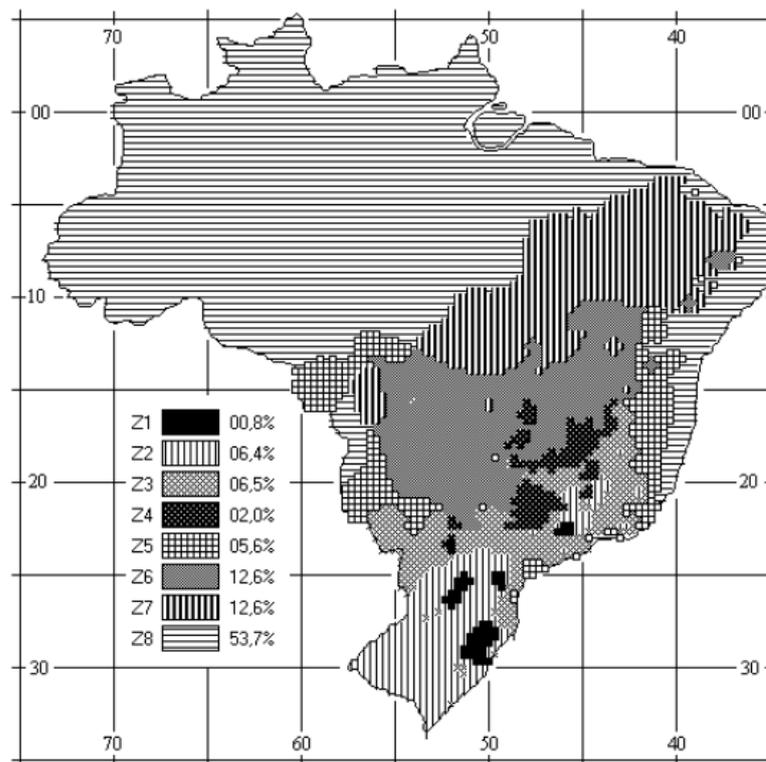
Segundo Frota e Schiffer (2003), o sol é uma importante fonte de calor, que incide nas edificações, que representa sempre um ganho de calor, que será por causa da intensidade da radiação incidente e das características térmicas do sistema adotado no edifício.

Conforme a NBR 15220 (2005) existem outros fatores que interferem diretamente para deixar o ambiente com mais conforto térmico:

- Absorbância à radiação solar dos materiais: é um valor variável, de acordo com o tipo de superfície, pelo formato, propriedade do material e pela coloração, ou seja, na hora da escolha da pintura de uma casa ou tipo de cobertura é importante escolher cores mais claras e materiais de cobertura com baixo valor de absorvância a radiação solar.
- Condutibilidade térmica: Propriedade física de um material ter maior condutibilidade de passar ou transportar calor. Deve-se levar em conta na escolha de materiais para a realização da cobertura ou escolha do tipo de material para vedação, a NBR 15220 (2005) nos informa alguns valores de condutibilidade.
- Calor específico dos materiais: Quantidade de calor necessária para acontecer a variação em uma unidade de temperatura de um sistema pelo seu peso, fator que determinante na escolha do material a ser utilizado.

A NBR15220 (2005) faz uma divisão bioclimática brasileira em oito zonas (imagem 4). Uma zona se diferencia uma da outra pelas suas diferenças climáticas, conseqüentemente o tratamento térmico de cada região é diferente, técnicas construtivas e materiais construtivos mínimos para cada região. “Para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que buscam otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.” (CAIXA, 2010).

Figura 4 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



Fonte: NBR15220 (2005)

Na NBR 15220 (2005), a cidade de Palmas não foi classificada nominalmente, e a própria diz que deve- ser considerar a cidade mais próxima, que no caso é Porto Nacional, que se encontra na zona 7, com temperatura máxima média de 35,6°C e temperatura mínima média de 18,0°C, também foi visto na norma que a média de temperatura do nosso Estado é a segunda mais alta do país, perdendo apenas para Teresina - PI.

A NBR15575 (2013) nos informa três tipos para aferir se a edificação está de acordo e qual desempenho ela se enquadra, são eles: avaliação térmica pelo método simplificado; avaliação em campo; avaliação por software computacional Energy Plus. O presente trabalho se propõe a fazer avaliação de campo, onde as medições serão realizadas nos protótipos. Para avaliação em campo a norma se delimita a três níveis de desempenho térmico, eles indicam a qualidade agregada no sistema construtivo em um conjunto inteiro, são eles: nível mínimo, intermediário e superior.

2.3 MATERIAIS

2.3.1 Bloco Cerâmico

Os materiais cerâmicos há bastante tempo são incorporados na vida cotidiana humana, em jarros, filtros, na construção civil em forma de telhas e tijolos. E sobre a fabricação dessas peças, Petrucci (1979, p.20), diz:

A fabricação dos produtos cerâmicos compreende várias fases, desde a exploração do barreiro e tratamento prévio da matéria prima, passando pela homogeneização, moldagem e secagem do material até sua queima.

Antigamente eram produzidos na maioria das vezes de forma totalmente artesanal pelos escravos com secagem ao sol, com baixa produtividade, e muito denso, sem preocupação de rendimento, que eram os tijolos de barro. Hoje a realidade é totalmente diferente, alta demanda, são necessários padrões mínimos de qualidade de produção desse material, tornando a fabricação totalmente industrializada com formas e com fornos próprios para a secagem, promovendo uma secagem de excelente. Hoje são fabricados tijolos maiores e furados para aumentar a produtividade por metro quadrado e leveza para aliviar fundações reduzindo custos com muita qualidade incorporada durante todo seu processo fabril, reflexão embasada por Ripper (1995).

Atualmente possuem dois tipos básicos no mercado: bloco cerâmico estrutural que tem menor expressão no mercado, pois tem função de vedação e função estrutural em todo o

empreendimento; bloco cerâmico de vedação, a respeito do surgimento do mesmo, Henrique, Banduk e Hissae (2005, p.7), conta: “Com a invenção do concreto armado, o sistema de construção mudou profundamente e as alvenarias deixaram de exercer sua função estrutural, sendo utilizadas somente como elementos de vedação”.

Os blocos cerâmicos de vedação, possui grande percentual no mercado, sendo presente em moradias tanto em altos padrões quanto em baixos e tem função apenas vedação, ou seja, isolar ambiente externo do interno, divisão de cômodos, e por último não menos importante, servir de uma barreira térmica entre o ambiente externo e interno, camada essa que serve de grande valia para o tema sugerido deste trabalho. Sobre bloco cerâmico de vedação a NBR 15270 (2005, p.2), nos diz:

Os blocos cerâmicos para vedação constituem as alvenarias externas ou internas que não tem a função de resistir a outras cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2009,p. 2), complementa:

Alvenarias de vedação são aquelas destinadas a compartimentar espaços, preenchendo os vãos de estruturas de concreto armado, aço ou outras estruturas [...] devem suportar tão somente o peso próprio e cargas de utilização, como armários, rede de dormir e outros. Devem apresentar adequada resistência às cargas laterais estáticas e dinâmicas, advindas, por exemplo, da atuação do vento, impactos acidentais e outras.[...] as alvenarias devem ser enfocadas de forma mais ampla, considerando-se aspectos do desempenho termo-acústico, resistência à ação do fogo, produtividade e outros. Sob o ponto de vista da isolamento térmica ou da inércia térmica das fachadas, por exemplo, as paredes influenciam a necessidade ou não de condicionamento artificial dos ambientes internos, com repercussão no consumo de energia ao longo de toda a vida útil do edifício.

2.3.2 Argamassa de Revestimento

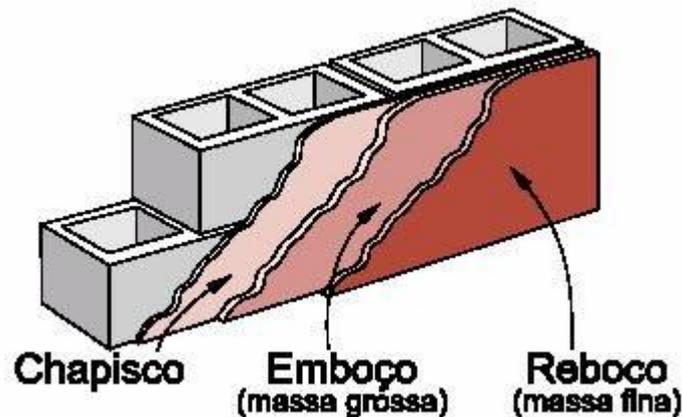
2.3.2.1 Definição

A NBR 13281:2017 define a argamassa como uma mistura de agregado miúdo, aglomerante e água, contendo ou não aditivos e adições com capacidade de aderência e endurecimento.

Segundo Fiorito (1994), é aquela que em sua composição apresenta cal, areia, cimento ou algum eventual aditivo plastificante. Está é a mais usual na construção civil, por ter matéria prima de fácil acesso e historicamente mais antiga e conseqüentemente mais difundida, onde se obtêm baixos a medianos coeficientes térmicos, ou seja, deixa passar calor para o ambiente interno com maior facilidade NBR 15220 (2005).

O revestimento em argamassa é definido pela NBR 13529:2013 como sendo “o cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo, ou constituir-se em acabamento final” formando, junto com a decoração, um sistema de revestimento que deve ser compatível com a natureza da base, as condições de exposição, o acabamento final e o desempenho previsto em projeto. De acordo com a figura 5 os revestimentos podem se constituir de algumas camadas como, emboço, reboco e preparação de base.

Figura 5 - Argamassa de revestimento em diferentes camadas.



Fonte: PRÉ-FORTE, 2005.

Os revestimentos em geral têm como finalidade proteção à edificação através do aumento da resistência a impactos, boa aparência, redução de problemas com pintura de acabamento, melhoria do conforto acústico e menor capacidade de absorção de águas da chuva.

2.3.2.2 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade da argamassa incorpora características da argamassa no estado fresco, como a consistência e a coesão.

A consistência da argamassa está diretamente ligada a umidade da mistura, quanto maior o fator água/cimento, maior o abatimento da argamassa. A coesão, por sua vez, é a medida da facilidade de acabamento e adensamento, avaliada pela capacidade de desempenamento e pela avaliação visual de resistência à segregação (SANTOS, 2003).

2.3.2.3 Mecanismo de Aderência Argamassa/Substrato

A adesão inicial é a propriedade da argamassa que lhe permite permanecer aderida ao substrato momentaneamente após a aplicação, não significando a completa adesão do sistema a longo prazo; podendo, também, ser resultante das forças de dispersão entre a argamassa fresca e o substrato (SANTOS, 2003). A ocorrência de falhas nessa propriedade pode levar a deslocamentos e/ou escorrimientos da argamassa recém-lançada (primeiros minutos).

A forma como ocorre essa adesão inicial depende tanto das características de trabalhabilidade da argamassa, quanto das características de porosidade ou rugosidade da base ou de tratamento prévio que aumente a superfície de contato entre os materiais (CINCOTTO et al, 1995). Esta propriedade determina o desempenho do conjunto base-revestimento.

A adesão inicial, também denominada de “pegajosidade”, está diretamente ligada às características reológicas da pasta aglomerante, sendo a responsabilidade pela adesão física ao substrato e aos grãos do agregado atribuída à baixa tensão superficial da pasta (ROSELLO, 1996).

A fim de melhorar a adesão adota-se um valor reduzido de tensão superficial da pasta aglomerante, favorecendo, portanto, a molhagem da base e reduzindo o ângulo de contato entre as superfícies. Para modificar essa tensão superficial pode-se alterar a composição da argamassa, adicionando cal, assim como aditivos incorporadores de ar e retentores de águas.

2.3.2.4 Capacidade De Aderência

De acordo com o Manual de Revestimento de Argamassa ABCP (s.d), conceitua-se aderência como a propriedade que possibilita à camada de revestimento resistir às tensões normais e tangenciais atuantes na interface com a base. O mecanismo de aderência se desenvolve principalmente: a) pela ancoragem da pasta aglomerante nos poros da base, ou seja, parte da água de amassamento contendo os aglomerantes é succionada pelos poros da base onde ocorre o seu endurecimento; b) e por efeito de ancoragem mecânica da argamassa nas reentrâncias e saliências macroscópicas da superfície a ser revestida.

Segundo Santos (2008), aderência é a resistência de arrancamento da argamassa endurecida do substrato que é influenciada pela condição superficial do mesmo, pela qualidade 9 e dosagem correta dos materiais, pela capacidade de retenção de água, pela espessura do revestimento, entre outras, (SELMO, 1989).

2.3.2.5 Avaliação da aderência a tração

A avaliação da aderência dos revestimentos é feita através de ensaios destrutivos de resistência de aderência, por tração ou por cisalhamento, de corpos de prova cortados transversalmente nos revestimentos obtendo-se valores de resistência à tração ou ao cisalhamento, dependendo da direção de solicitação (SELMO, 1989).

A resistência de aderência à tração representa a máxima tensão que um revestimento suporta quando submetido a um esforço normal de tração. Essa resistência pode ser medida por diversos tipos de aparelho e consiste na imposição de um esforço de tração perpendicular ao revestimento a ser ensaiado.

2.3.3 **Cimento Portland**

De acordo com Bauer (2000), o Cimento Portland é um aglomerante industrializado que tem a função da junção dos demais agregados e dependendo da forma de fabricação, influencia a resistência final. Este por sua vez é fabricado por uma mistura de clínker (que é o principal agregado à mistura) e gesso, o clínker é constituído por calcário, argila e minério de ferro. Esses minerais são conseguidos somente através da extração, isso explica em parte o porquê de não ter tantas fabricas de cimento e o porquê delas se encontrarem geralmente afastadas dos grandes centros, pelo fato de não encontrar esses minérios em fácil acesso no território nacional para extração e para uma redução de custo de transporte, pois são materiais pesados com grande demanda. Sobre o assunto Bauer (2000, p.35) abrange:

O Cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clínker constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adição de certas substancias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

O Cimento Portland após sua fabricação possui propriedade física em pó, pois seus componentes também são adicionados à mistura da mesma forma, pois o clínker que possuía característica granular, este é elevado até a sua temperatura de fusão para ser utilizado. Sobre as propriedades físicas do Cimento Portland, Yazigi (2011, p.245), relata:

As propriedades físicas do cimento Portland são consideradas sob três aspectos distintos: do produto na sua condição natural, em pó; da mistura de cimento e água em proporções convenientes da pasta; e da mistura da pasta com agregado padronizado (argamassa).

Sobre os tipos de cimentos fabricados e utilizados no mercado varia do tipo 1 ao 5 e suas adições. Cada classificação mencionada é indicada para cada tipo de utilização, região

climática por ter características específicas de utilização, no nosso país pode variar de região para região por ter diferentes tipos climáticos como vimos anteriormente (BAUER, 2000). O cimento que é comercializado no Tocantins é o CPII que tem suas características como Bauer (2000, v.1, p.35), nos diz:

Frequentemente conhecido como ‘modificado’, é um cimento com desenvolvimento moderado de calor de hidratação. Foi muito utilizado nas pavimentações antes do desenvolvimento da técnica de incorporação de ar, e recomendado para construções volumosas de porte moderado.

Nas lojas de materiais de construção o cliente encontra para comprar somente saco de 50 kg, ele é comercializado assim por ser “prático” para carga e descarga que na maioria das vezes é feita manualmente, por isso a carreta ou o caminhão deve ficar o mais próximo possível do depósito ou armazém e conseqüentemente este deve estar próximo da betoneira ou perto do local que irá consumi-lo, pois é um produto que será utilizado muito durante todo o processo da obra. A estocagem do cimento deve ser em local fechado, livre da umidade e deve ser colocado sobre estrados de madeira e que tenha um recuo da parede para não passar umidade para o saco (RIPPER, 1995). “O período médio de estocagem de cimento em sacos é da ordem de 30 dias. Este tempo pode ser aumentado até 60 dias ou diminuído, conforme o clima seco ou úmido.” (RIPPER, 1995, p.8).

2.3.4 Agregado

2.3.4.1 Definição

Material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula (inerte), constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos (NEVILLE,1997).

2.3.4.2 Origem

Os naturais de densidade média: são encontrados na natureza já fragmentados sob a forma particulada: areias de barranco, minas, rios e mar; seixos rolados ou pedregulhos extraídos das jazidas de rios, mar ou das jazidas de solos (NEVILLE,1997). .

Os naturais de densidade leve: inorgânicos celulares granulados constituídos da matéria prima por fontes naturais como: pedras polmes, escórias vulcânicas ou tufo.

Os artificiais de densidade média: são aqueles que a matéria prima necessita ser triturada ou britada, ou seja, receber tratamento de alguma maneira para chegar a forma das

partículas dos agregados miúdos e graúdos em condições apropriadas para utilização em concreto normal. Os mais conhecidos são formados através da moagem da britagem de rocha estáveis (NEVES, 2009).

2.3.4.3 Dimensões

Os agregados de forma geral são divididos em três classificações: grosso entre 2,4/4,8mm, médio entre 0,60/2,4mm e fino entre 0,15/0,60mm, se diversificam pelas diferentes porcentagens dos tamanhos dos grãos (BAUER, 2000, p.79).

2.3.4.4 Agregado Miúdo

Segundo Yazigi (2011), o agregado que se utiliza para confecção de argamassa é o agregado miúdo que por definição é todo material de diâmetro menor ou igual a 4,8mm podendo ser natural ou artificial. Os naturais são aqueles encontrados no meio ambiente diretamente da natureza: rios, lagos e outros. Sobre os agregados encontrados em rios ou lagos, Bauer (2000, p.78), nos diz:

São depósitos sedimentares que se formam nos leitos de alguns rios. A extração se faz por dragas de sucção, que bombeiam a água, contendo cerca de 5% a 10% de areias, para lagoas de decantação, de onde o material é retirado e, em alguns casos, classificado, para retirar elementos de diâmetro superior a 4,8mm, que possam existir.

Os Artificiais “são aqueles que necessitam de um trabalho para chegar à condição necessária e apropriada para seu uso: areia artificial, brita etc.” (YAZIGI,2011, p.237)

2.3.4.5 Agregado leve

Os agregados leves se diferenciam dos agregados normais, ou seja, aqueles que facilmente são encontrados no mercado, o fato de que eles possuem um peso específico mais baixo em relação ao comum, geralmente são industrializados e possuem propriedades térmicas e acústicas bem atrativas, para desempenhos térmicos e redução de cargas provenientes da edificação nas fundações. (BRASIL MINÉRIOS, 2013).

2.3.4.6 Vermiculita

De acordo com Brasil Minérios em seu dossiê técnico (2014), a vermiculita apresenta uma estrutura cristalina e lamelar. Este minério pode ser encontrado em vários estados do país, sendo encontrado principalmente nos estados de Goiás e da Paraíba. Após a sua extração, a vermiculita tem a propriedade de expandir ou esfoliar quando submetida a um aquecimento elevado (900°C), sendo que a sua expansão acontece no sentido perpendicular ao plano de clivagem das lamelas o que a deixa sanfonada.

Com a expansão da vermiculita, é gerado espaços vazios em seu interior que serão preenchidos por ar, e com a sua expansão, ele se torna um agregado leve que pode ter seu diâmetro iguais ao diâmetro de agregados comuns (LUFA, 2011).

Sobre a criação e atributos da vermiculita expandida Bauer (2000), nos auxilia dizendo que é um material decorrente da argila do grupo cristalino, quimicamente inertes, de baixa densidade, sendo constituídos principalmente por óxidos de alumínio, silício, ferro e magnésio. Possui uma superfície porosa com granulação lamelar e se expandem quando aquecidos a uma temperatura por volta de 500° C, que se torna um agregado leve, com granulometria 0 a 4.8mm e com peso específico que vai de acordo com a mesma, de 800 a 1600 N/m³ e de condutibilidade térmica média de 0,22 W/Mk

Segundo Brasil Minérios (2014), no que se diz respeito ao seu peso específico e suas propriedades térmicas na construção civil a vermiculita expandida é comercializada em diferentes tamanhos, sendo aplicada facilmente e sem restrições, além de ser inodora, não propaga fogo, incombustível e de não apresentar riscos à saúde. A vermiculita após seu processo de expansão, se caracteriza pela leveza, pelo o fato de ter passado a ter até 10 vezes o seu tamanho original pesando entre 90 e 140 kg/m³, onde vai depender da granulometria. Por ser um produto de origem mineral a vermiculita expandida após o seu processo de fabricação ela possui baixa capacidade de conduzir calor entre as temperaturas 25 a 1100°C. Por ser porosa ela possui propriedade de armazenar liquido em seu interior.

Conforme Lufa (2011) quando utiliza-se a vermiculita expandida no traço da argamassa as paredes tem propriedades de isolamento térmico e acústico. Sendo que quando incorporada ao traço antes da sua aplicação deve ser executado um chapisco grosso prévio.

E Brasil Minérios em seu dossiê (2014, p.5), complementa dizendo:

Recomenda-se normalmente o uso uma relação em volume entre 1:4 e 1:6 de Cimento Aluminoso e Vermiculita, podendo ser utilizado em misturas de traços de até 1: 12 em locais onde não se requeiram resistência mecânica, como por exemplo, em enchimentos de espaços vazios. A argamassa isolante para altas temperaturas pode ser aplicado da mesma forma que os argamassas

normais. Quando aplicado como uma camada isolante, pode ser espalhado e nivelado e à medida que ganha consistência pode ser chapiscado em camadas com a pá de pedreiro até obter a espessura desejada. [...] Cimento comum e Vermiculita que possui uma alta inércia térmica, absorvendo o calor, não permitindo variações bruscas de temperatura [...].

2.4 ENSAIOS

Toda e qualquer argamassa deve ser ensaiada e atender critérios mínimos como tal, tais critérios para argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos, estão mencionados na NBR 13281 (2017), abrangendo todos os tipos de argamassa tanto as industrializadas, quanto as preparadas em obra, os requisitos ou ensaios são: resistência à compressão NBR 13279 (2005), coeficiente de capilaridade NBR 15259 (2005), resistência à tração na flexão NBR 13279 (2005) densidade de massa aparente no estado endurecido NBR 13280 (2005), densidade de massa no estado fresco NBR 13278 (2005), retenção de água NBR 13277 (2005), resistência potencial de aderência à tração NBR 15258 (2005). Na aceitação e rejeição da argamassa, a NBR 13281 (2017, p.6) nos auxilia:

O lote é automaticamente aceito sempre que os resultados dos ensaios atenderem às exigências desta norma. Quando os resultados não atenderem às condições específicas constantes nesta norma, o impasse deve ser resolvido por meio da utilização do testemunho reservado para a repetição dos ensaios, que devem ser efetuados em laboratório escolhido por consenso entre as partes.

Dos requisitos que a norma traz, abaixo estão listados nas tabelas dos ensaios que foram realizados, são eles:

Tabela 1 - Resistência a Compressão

| Classe | Resistência à compressão (Mpa) | Método de ensaio |
|--------|--------------------------------|------------------|
| P1 | ≤ 2,0 | ABNT NBR 13279 |
| P2 | 1,5 a 2,0 | |
| P3 | 2,5 a 4,5 | |
| P4 | 4,0 a 6,5 | |
| P5 | 5,5 a 9,0 | |
| P6 | > 8,0 | |

Fonte: NBR13281,2017 (adaptada pelo autor)

Tabela 2 - Densidade de massa aparente no estado endurecido

| Classe | Densidade da massa aparente no estado endurecido kg/m ³ | Método de ensaio |
|--------|-----------------------------------------------------------------------|------------------|
| D1 | ≤ 1400 | ABNT NBR 13280 |
| D2 | 1200 a 1600 | |
| D3 | 1400 a 1800 | |
| D4 | 1600 a 2000 | |
| D5 | 1800 a 2200 | |
| D6 | > 2200 | |

Fonte: NBR13281,2017 (adaptada pelo autor)

Tabela 3 - Resistência potencial de aderência à tração

| Classe | Resistência potencial de aderência à tração MPa | Método de ensaio |
|--------|----------------------------------------------------|------------------|
| A1 | < 0,20 | ABNT NBR 13280 |
| A2 | ≥ 0,20 | |
| A3 | ≥ 0,30 | |

Fonte: NBR13281,2017 (adaptada pelo autor)

Tabela 4 - Densidade de massa aparente no estado fresco

| Classe | Densidade da massa aparente no estado fresco kg/m ³ | Método de ensaio |
|--------|-------------------------------------------------------------------|------------------|
| D1 | ≤ 1400 | ABNT NBR 13278 |
| D2 | 1200 a 1600 | |
| D3 | 1400 a 1800 | |
| D4 | 1600 a 2000 | |
| D5 | 1800 a 2200 | |
| D6 | > 2200 | |

Fonte: NBR13281,2017 (adaptada pelo autor)

2.5 RETRAÇÃO

O índice de problemas em revestimentos de fachada tem sido elevado, principalmente no que se refere à aderência argamassa/substrato/revestimento e fissuração. Esses defeitos, muitas vezes ocultos, geram prejuízos econômicos a construtores, fabricantes e usuários. Eliminar esses riscos por meio de técnicas capazes de atuar de forma não destrutiva na prevenção/correção de falhas durante a execução dos revestimentos ou na identificação dos defeitos ocultos antes do agravamento do problema é fator crítico para evitar prejuízos ao desempenho técnico dos materiais aplicados e na vida útil das edificações.

O fenômeno da retração pode ser ocasionado pelo excesso de finos que exige maior consumo de água, conseqüentemente maior retração por secagem (Bauer, 1994).

A argamassa no seu endurecimento é acompanhada por uma diminuição do seu volume também por perda de água evaporável e por reações de hidratação (FIORITO, 2009). A alta temperatura e a baixa umidade podem acelerar as reações de hidratação e fazer evaporar a água da argamassa. Quando ocorre este fenômeno, diminuem de volume quando ainda no estado plástico e depois de endurecidas. Se a argamassa de cal recém aplicada, isto é, ainda no estado plástico, secar muito rapidamente pela ação do sol e do vento, pela temperatura e umidade do ambiente, ocorrerá o aparecimento de fissuras (Petrucci, 1979).

“As condições ambientais e capacidade de retenção de água da argamassa fresca podem regular a perda de umidade do revestimento para a base do revestimento durante as fases de endurecimento e desenvolvimento inicial de resistência” (BAUER, 1994, p.915).

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Trata-se de uma pesquisa aplicada onde busca produzir conhecimentos científicos para aprimorar os processos tecnológicos do conforto térmico. Conforme Thiollent (2009, p.36) a pesquisa aplicada concentra-se em torno dos problemas nas atividades e está empenhada na elaboração de diagnósticos buscando soluções. Foram analisados três traços de argamassa e as composições de cada uma terá um teor de vermiculita diferente sendo 0% de adição, 10% e 20% denominados de argamassa A0, A10 e A20 respectivamente, quanto ao procedimento metodológico a pesquisa é de caráter experimental onde foi realizado ensaios laboratoriais buscando avaliar as variáveis de pesquisa para então estudar e encontrar as variáveis de resposta. A abordagem é quantitativa visando através destes ensaios e da montagem de protótipos obter valores que demonstrem às características da argamassa para os três traços conforme tabela 5.

Tabela 5 - Traços em volume para composição das argamassas estudadas

| Argamassa | Cimento | Areia | Vermiculita |
|------------------|----------------|--------------|--------------------|
| A0 | 1 | 3,00 | 0 |
| A10 | 1 | 2,70 | 0,30 |
| A20 | 1 | 2,40 | 0,60 |

Fonte: Próprio autor.

Essas argamassas foram expostas às condições de temperatura na cidade de Palmas – TO entre os dias 15/10/2018 e 24/10/2018 para avaliar a influência na temperatura para essa região.

3.2 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

3.2.1 Variáveis Independentes

As variáveis independentes delimitam os experimentos da pesquisa para que sigam características equivalentes de forma a isolar a variável a ser estudada.

- I. Tipo de cimento;
- II. Fator água/cimento;

- III. Forma de aplicação;
- IV. Substrato.

Essas características serão mantidas em todos os traços estudados na pesquisa para que seja possível analisar a influência da vermiculita em cada caso.

3.2.2 Variáveis Dependentes

As variáveis dependentes da pesquisa caracterizarão as propriedades mecânicas nos estados frescos e endurecidas da argamassa bem como sua condutividade térmica.

- I. Traço;
- II. Resistência a compressão;
- III. Massa específica aparente;
- IV. Resistência de aderência à tração;
- V. Massa aparente no estado endurecido.

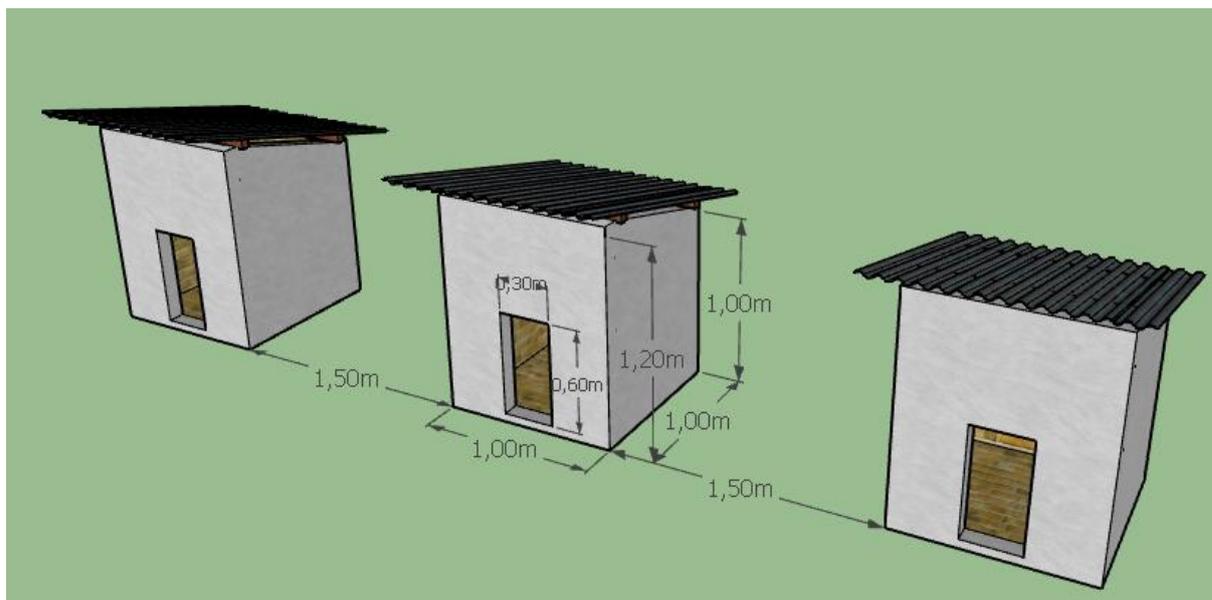
3.3 PROTÓTIPOS

Segundo a NBR 15575 (2013), a aferição da temperatura, in loco, deve ser feita em escala real (1:1), contudo a mesma não traz precisamente o tamanho ideal para confecção do protótipo. Diante do exposto, realizou-se pesquisa bibliográfica de projetos semelhantes e artigos sobre o tema, dentre os artigos estudados, a cerca de protótipos, destacou-se o publicado por LELIS, Flávio Roldão de Carvalho e NETO, Moacyr Salles.

Adotou-se as dimensões em planta de 1,0 x 1,0 m e altura máxima de 1,20 m e mínima de 1,09 m e talhado de fibrocimento para os protótipos conforme utilizado no artigo de LELIS, Flávio Roldão de Carvalho e NETO, Moacyr Salles, por ter os mesmos componentes de estudo, além de verificar uma composição com a adição de vermiculita, o afastamento lateral e frontal afim de um não realizar sombra nos outros, por levar em consideração as referências locais e publicação em órgão expressivo na área de engenharia civil.

Para chegar aos objetivos almejados, como ponto inicial escolheu-se o modelo e as dimensões dos protótipos, sendo estes confeccionados de forma que aproximasse ao máximo aos critérios da norma de desempenho térmico conforme figura 6.

Figura 6 - Croqui dos protótipos



Fonte: Próprio autor.

Todos os protótipos foram montados com os mesmos materiais exceto a argamassa utilizada nos revestimentos que é o nosso objeto de estudo. Para a ventilação foi previsto em projeto uma abertura de no mínimo 7%, conforme a norma, adotou-se 30 x 60 cm para ambos os protótipos.

Para aferição pontual das paredes leste e oeste, utilizou-se termômetro digital com mira a laser de modelo FLIR TG165, que faz leitura de -50° a 380° centígrados, tais paredes são as que recebem insolação durante o dia. Para coletar os dados das temperaturas internas foi utilizado termômetro Termo Higrômetro Digital Mod.Ht-700.

3.4 MÉTODO CONSTRUTIVO

Para determinar o local específico da construção dos protótipos, levou-se em consideração a localização da serralheria, observando-se a distância para que não houvesse sombra sobre os protótipos, além de tentar achar o espaço mais nivelado possível. Com o auxílio da bússola, identificou-se a orientação para abertura da janela sendo esta, voltada para o oeste conforme figura 7.

Figura 7 - Planta de situação



Fonte: Próprio autor.

Procedeu-se a limpeza dos terrenos e a preparação do solo para receber a fundação. A fase de construção foi realizada por mão de obra especializada, os tijolos utilizados para a montagem foram tijolos cerâmicos convencionais de 8 furos assentados com uma argamassa de cimento e areia sobre um lastro de concreto de 8mm de espessura conforme especificações recomendadas por YAZIGI (2011).

Figura 8 - Construção do protótipo



Fonte: Próprio autor.

Figura 9 - Protótipos finalizados



Fonte: Próprio autor.

Foram revestidas as fachadas externas com camada única sem chapisco de 2,0 cm de argamassa e para o telhado do protótipo utilizou-se telha de fibrocimento, com inclinação de 20%, ou seja, a parede mais alta com 1,20 m e a mais baixa com 1,00 m, a telha comprada comercialmente é de 2,44 x 1,10 m com espessura de 5 mm, para adequar ao protótipo, foi necessário o corte da telha com máquina de serra circular.

3.5 ARGAMASSAS

O traço volumétrico utilizado para o protótipo com argamassa comum foi de 1:3 (cimento e areia média) conforme YAZIGI (2011). Para medir as proporções no traço, utilizou-se uma padiola com medidas 0,5m x 0,5m x 0,3m totalizando um volume de 75 litros, usou-se a betoneira semi-fixa de 400 litros para a mistura e preparação da argamassa e carro de mão para o transporte. Esse processo foi realizado no laboratório de engenharia civil. Produziu-se argamassa com espessuras de 2,0 cm para o ambiente externo, e aplicou-se com a colher de pedreiro, posteriormente procedeu-se o sarrafeamento com auxílio da régua e para o acabamento utilizou-se a desempenadeira, após a aplicação foi realizado o processo de cura com aspersão durante dois dias consecutivos. Esse processo foi o mesmo utilizado nas argamassas com adição de vermiculita.

A vermiculita é comercializada em sacos de 100 litros, com granulometria própria para uso. Para a fabricação das argamassas A10 e A20 foram utilizados respectivamente os traços volumétricos 1:2,70:0,30 e 1:2,40:0,60 (Cimento, areia e vermiculita).

3.6 ENSAIOS

A norma ABNT NBR 13281 (2017) traz requisitos mínimos da argamassa e esses requisitos estão dispostos em outras normas como foi apresentado. Foram realizados os seguintes ensaios: Resistência à compressão NBR 13279 (2005); Resistência à tração NBR 13528 (2010); Densidade de massa no estado fresco NBR 13278 (2005); Densidade de massa aparente no estado endurecido NBR 13280 (2005).

3.6.1 Ensaio de consistência

O ensaio de determinação do índice de consistência através da mesa de fluidez “flow table” consistiu em realizar medidas do diâmetro do corpo de prova tronco-cônico normalizado, após o seu abatimento com 30 golpes da mesa, conforme prescreve a NBR 13276:2005.

A norma ainda indica que o índice de consistência será tomado como a média das três medidas do diâmetro, em milímetros. Se o valor estiver compreendido no intervalo de 255 ± 10 mm ele corresponderá ao índice de consistência padrão.

Figura 10 - Preparação para o ensaio



Fonte: Próprio autor.

3.6.2 Ensaio de Aderência a Tração

Foram analisados 8 corpos de prova conforme NBR 13528:2010 “Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas –determinação da resistência de aderência à tração” (ABNT, 2010), para cada amostra ou traço. A distribuição dos pontos de teste foi feita de forma aleatória.

Foram empregados um aparelho dinamômetro da marca Solotest, equipado com um indicador digital de leitura de força, com capacidade de 1200kgf e com resolução do display de 1Kgf. O equipamento apresentava as características necessárias ao procedimento, permitia a aplicação contínua de carga, possuía fácil manuseio, baixo peso e era dotado de dispositivo para leitura de carga com erro máximo de 2% e com a disposição de três pontos de apoio ajustáveis. Foram empregadas também pastilhas de alumínio com seção circular de (50 ± 1) mm de diâmetro e com um dispositivo no centro sendo um furo com rosca para a fixação do parafuso de encaixe, as quais foram coladas ao revestimento com o uso da cola à base epóxi (araldite).

Para realizar o ensaio foi levantada uma parede modelo com faixas separadas revestidas com as argamassas A0, A10 e A20 para extrair as amostras.

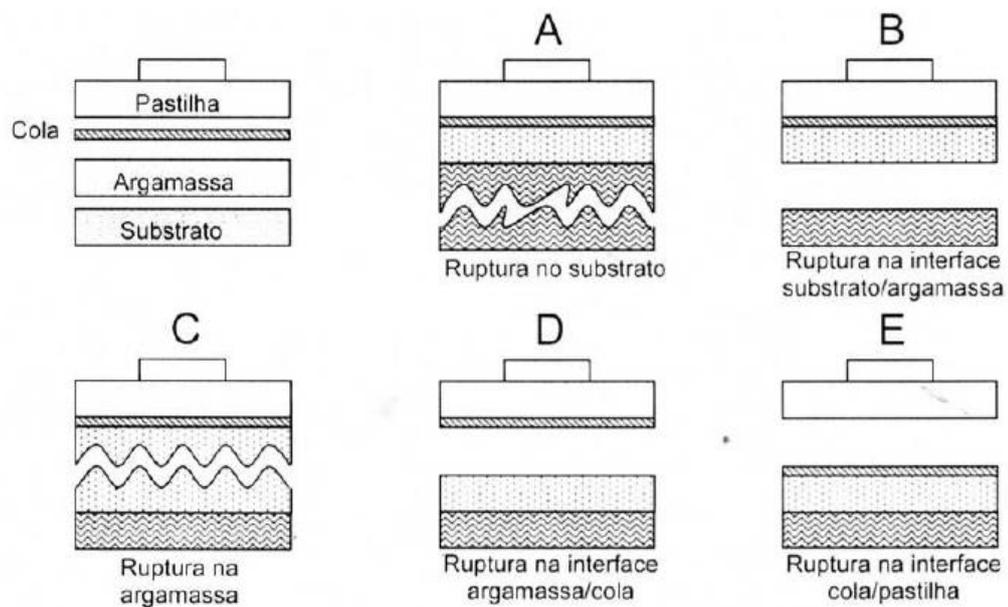
Figura 11 - Equipamento



Fonte: Próprio autor.

A figura 12 mostra as formas de ruptura para o ensaio de resistência de aderência a tração para um sistema de revestimento sem chapisco.

Figura 12 - Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco.



Fonte: NBR 13528/2010

Tabela 6 - Exemplo de planilha para o ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco

| Ensaio de resistência de aderência à tração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|--------------------|------------|-----------------|------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|---------|------|----------|-----------|-----------|--|--|----------------|--------|--------|--------|-------|---|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|
| Data: ___/___/___ | | | Temperatura: ___°C | | | Umidade relativa: ___% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Interessado: _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Obra: _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Endereço: _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Informações do sistema de revestimento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Substrato: () Bloco cerâmico () Bloco de concreto () Estrutura de concreto () _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chapisco: () Não () Sim | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Argamassa: () Cimento () Mista: _____ () Industrializada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de aplicação da argamassa: () Manual () Mecânica | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Idade do revestimento: _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Informações da metodologia de ensaio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Equipamento de corte – Marca: _____ Modelo: _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cola utilizada: _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dinamômetro de tração – Marca: _____ Modelo: _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Coleta de dados | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corpo de prova | | | | | Local do ensaio | | Carga de ruptura (N) | Tensão Ra (MPa) | Forma de ruptura (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| nº | d1 (mm) | d2 (mm) | dm (mm) | Área (mm²) | Bloco | Junta | | | Sub. | Sub/Arg | Arg. | Arg/Cola | Cola | Cola/Past | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>NOTA d1 e d2 são os diâmetros do corpo de prova dm é o diâmetro médio do corpo de prova Tensão (MPa) é a carga de ruptura (N)/Área do corpo de prova (mm²) Mu (g) é a massa úmida do testemunho + massa do recipiente Mi (g) é a massa do recipiente Ms (g) é a massa seca do corpo de prova w (%) é a umidade do revestimento = $\{[(Mu-Mi)-Ms]/MS\} 100$</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. Observações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">nº</th> <th colspan="4">Unidade %</th> <th rowspan="2">Espessura (mm)</th> </tr> <tr> <th>Mi (g)</th> <th>Mu (g)</th> <th>Ms (g)</th> <th>w (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> | | | | | | | | | | | | nº | Unidade % | | | | Espessura (mm) | Mi (g) | Mu (g) | Ms (g) | w (%) | 1 | | | | | | 2 | | | | | | 3 | | | | | |
| nº | Unidade % | | | | Espessura (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Mi (g) | Mu (g) | Ms (g) | w (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: NBR 13528/2010.

As especificações normativas de aderência prescrevem níveis mínimos de resistência de aderência tração, conforme tabela 7.

Tabela 7 - Limites de resistência de aderência à tração para emboço e camada única aplicados sobre paredes

| LOCAL | | ACABAMENTO | RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA (Mpa) |
|--------|---------|-----------------------------|--------------------------------|
| Parede | Interna | Pintura ou base para reboco | ≥ 0,20 |
| | | Cerâmica ou laminado | ≥ 0,30 |
| | Externa | Pintura ou base para reboco | ≥ 0,30 |
| | | Cerâmica | ≥ 0,30 |

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013)

3.6.3 Ensaio de Resistência à Compressão

O preparo dos moldes de argamassa para os ensaios de compressão no estado endurecido foi realizado, conforme os itens 5.2, 5.4 e 5.5 da NBR 13279:2005 “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão”.

Aplicou-se óleo mineral nas faces internas dos moldes para não ocorrer a aderência com os mesmos, facilitando assim a desforma, introduziu-se a argamassa em duas etapas, realizando o adensamento e o espalhamento entre elas para o perfeito preenchimento dos vazios, em seguida nivelou-se a superfície de cada corpo de prova com uma régua metálica. Após o período de 24 horas procedeu-se com a desforma.

Foram moldados dezoito corpos de prova sendo dois de cada traço de argamassa para o rompimento aos 7 dias, dois de cada traço para rompimento aos 14 dias e os outros dois de cada traço com rompimento aos 28 dias. Para realizar os ensaios de resistência a compressão foi utilizado o equipamento do laboratório de estruturas do curso de engenharia civil do CEULP, sendo uma estrutura universal da série 23 de compressão de 2.000 kN conforme figura 13.

Figura 13 - Equipamento



Fonte: EMIC (2018).

3.6.4 Determinação da densidade de massa em estado fresco

Este ensaio foi realizado segundo as informações da NBR 13278 (2005). Pesou-se o molde do corpo de prova em uma balança com resolução de 0,1g e registrou-se sua massa, posteriormente foi introduzida a argamassa em duas etapas suavemente. Em cada camada aplicou-se golpes para evitar os vazios e melhorar o adensamento da argamassa, nivelou-se a superfície com auxílio de uma régua metálica, após esta etapa pesou-se novamente o valor do molde com a argamassa. Este processo se deu para ambas as argamassas e posteriormente foram encontrados, os resultados das mesmas através da fórmula:

$$A = \frac{Mc - Mv}{Vr}$$

Mc = massa do recipiente com argamassa em g

Mv = massa do recipiente vazio em g

Vr = volume do recipiente em ml

3.6.5 Determinação da densidade de massa em estado endurecido

Para a realização deste ensaio, utilizou-se o passo a passo descrito na NBR 13280 (2005).

Aplicou-se óleo mineral nas faces internas dos moldes para não ocorrer a aderência com os moldes, ou seja, para que não dificultar a desforma, introduziu-se a argamassa em duas etapas, e entre elas, foi realizado adensamento e o espalhamento para o perfeito preenchimento dos vazios, após esta etapa foi nivelada a superfície de cada corpo de prova com uma régua metálica. Após o período de 24 horas procedeu-se com a desforma e posteriormente fez-se o lançamento em água.

Aos 28 dias de idade, o corpo de prova, foi retirado da água e colocado na estufa em uma temperatura média de 110°C, onde permaneceu ali até não acontecer alternância em sua massa, retirou-se o corpo de prova da estufa e deixou-o esfriar, a uma temperatura ambiente, após este processo foi pesado o corpo de prova em uma balança com resolução de 0,1 g e registrou-se sua massa.

Figura 13 – Balança de precisão



Fonte: Próprio autor.

Este processo se deu para ambas as argamassas e posteriormente foram encontrados, os resultados das mesmas através da fórmula:

$$A = 1000 \times \frac{M}{V}$$

M = massa registrada na balança em g

V = Volume do corpo de prova em cm^3

3.7 COLETA DE DADOS DE TEMPERATURA

O modelo utilizado para a aferição do experimento foi o índice fisiológico, ou seja, aqueles que consideram índices meteorológicos. Analisou-se a diferença entre a temperatura em ambiente interno e externo, uma vez que, para analisar as demais variáveis seriam necessários softwares para determinação de coeficientes, equipamentos mais precisos para determinação das demais variáveis.

De acordo com método descrito na NBR 15575 (2013) para apuração dos dados, as medições devem ocorrer em um dia típico de projeto, de verão ou de inverno, no caso desse projeto foi em dia típico do verão, ou seja, a norma apresenta parâmetros de temperaturas locais de cada zona, para cada dia típico que são valores identificados pela temperatura do ar exterior medidos no local, tendo conhecimento destes dados foi possível prosseguir com o próximo passo, a escolha do dia, que deveria ser precedido por pelo menos um dia com características semelhantes conforme o indicado.

Para realizar a coleta das temperaturas internas foram utilizados termômetros Termo Higrômetro Digital Mod.Ht-700 com medição de temperatura interna de -30 a 60° centígrados e externa com Termômetro digital com mira a laser mod. FLIR TG165 que faz leitura de -50° a 380° centígrados. Este equipamento foi cedido pelo curso de arquitetura do CEULP-ULBRA, o termômetro nos indica as informações de temperatura interna e externa. Sendo a área das medições externas de temperatura centradas nas fachadas leste e oeste que recebem maior incidência solar.

Os horários para medições foram 9:00 h, 13:00 h e 18:00 h para extrair informações no início do dia onde a fachada leste é mais solicitada, no início da tarde onde a temperatura da cidade alcança os maiores valores e no final da tarde quando é mais solicitada a fachada oeste, após a coleta os dados foram transferidos para planilha no Excel e processados para formação de gráficos e tabelas.

Para a coleta da temperatura com o Termômetro digital com mira a laser mod. FLIR TG165 o posicionamento do equipamento na hora da coleta foi padronizado de forma que fique a uma distância de 2 metros das fachadas. E para auxiliar a coleta foram marcados ou pontos onde a mira do equipamento deve estar para que os resultados sejam extraídos da forma mais parecida possível entre as fachadas dos protótipos.

3.8 AVALIAÇÃO DA RETRAÇÃO

Após projetar e assentar a argamassa sobre o revestimento a água presente na argamassa começa a ser consumida e propriedades como resistência e dureza começam a surgir, junto a esse processo começa a retração da argamassa.

Com o auxílio de um quadro de dimensões 0,5 x 0,5 m foi feito o enquadramento da superfície exposta e conseguinte arquivamento fotográfico de cada zona e áreas mais afetadas, após o tempo de pega do material.

Foi observada a ação da retração nos protótipos construídos neste trabalho. Essa observação foi feita por registro fotográfico evidenciando qual argamassa apresenta maior quantidade de fissuras e maior comprimento.

Como não existe normalização que estabeleça o limite para fissuras de retração, corrosão, reação álcali-agregado, ou qualquer outra decorrente de fenômenos químicos e físicos relacionados à durabilidade e vida útil, admitiu-se dois tipos de fissuras: Tipo 1 – fissuras com comprimento inferior a 5 cm e Tipo 2 – fissuras com comprimento superior a 5 cm.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CONSISTÊNCIA

Foi possível identificar um maior nível de acabamento no protótipo de argamassa convencional, porém ambos conseguiram atender parâmetros de um reboco paulista, onde não é necessário mais uma camada de regularização final

Os valores dos ensaios de consistência das argamassas A0, A10 e A20 apresentaram resultados similares sendo todos no intervalo de 255 ± 10 mm após os 30 golpes na mesa para índice de consistência conforme a NBR 13276:2005, resultados na tabela 8.

Tabela 8 - Espalhamento/consistência

| Traço | Data do Ensaio | Média de espalhamento (cm) |
|-------|----------------|----------------------------|
| A0 | 10/08/2018 | 34 |
| A10 | 10/08/2018 | 33 |
| A20 | 10/08/2018 | 32 |

Fonte: Próprio autor.

Figura 14 - Espalhamento/consistência



Fonte: Próprio autor.

Devido ao teor de finos presente na vermiculita ela absorve mais água para sua hidratação na hora da mistura provocando dessa forma menores valores de espalhamento das argamassas com adição de vermiculita que comparados com os da argamassa convencional. Mesmo as argamassas com resultados próximos de consistência pelo teste de fluidez, uma

apresentou ser muito boa do ponto de vista da trabalhabilidade, e as com vermiculita apresentaram menor trabalhabilidade. Isso conduz à conclusão de que uma abordagem mais completa acerca da questão da trabalhabilidade demanda estudos mais aprofundados do ponto de vista reológico

4.2 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA A TRAÇÃO

Os resultados do ensaio de resistência de aderência a tração mostram que todas as argamassas da pesquisa apresentam valores superiores ao recomendado para fachadas externas como exigido pela NBR 13281 (2017), conforme a tabela 9.

Tabela 9 - Resistência potencial de aderência à tração

| Traço | Resistência potencial de aderência à tração NBR 13281 (2017) |
|-------|--------------------------------------------------------------|
| A0 | 0,41 |
| A10 | 0,45 |
| A20 | 0,36 |

Fonte: Próprio autor.

Tabela 10 - Ensaio de Resistência de Aderência à tração argamassa convencional

| Corpo de Prova | Diâmetro (mm) | Local do Ensaio | | Tensão (MPa) | Forma de Ruptura | | | | | | Espessura Revestimento (mm) |
|-----------------------|---------------|-----------------|--------------------------------------------|--------------|------------------|---|---|---|---|---|-----------------------------|
| | | BLOCO | JUNTA | | A | B | C | D | E | F | |
| 1 | 50 | X | | < 0,30 | X | | | | | | 20 |
| 2 | 50 | X | | 0,35 | | | X | | | | 20 |
| 3 | 50 | X | | < 0,30 | X | | | | | | 20 |
| 4 | 50 | | X | 0,44 | | | X | | | | 20 |
| 5 | 50 | X | | 0,35 | X | | | | | | 20 |
| 6 | 50 | | X | 0,47 | | X | | | | | 20 |
| 7 | 50 | | X | > 0,52 | | | X | | | | 20 |
| 8 | 50 | | X | > 0,55 | | | X | | | | 20 |
| MÉDIA DE TENSÃO (MPa) | | | | 0,41 | - | | | | | | |
| DESVIO PADRÃO (MPa) | | | | 0,10 | | | | | | | |
| COEF. DE VARIAÇÃO (%) | | | | 23,97 | | | | | | | |
| FORMA DE RUPTURAS | | A | RUPTURA NO SUBSTRATO | | | | | | | | |
| | | B | RUPTURA NA INTERFACE SUBSTRATO / ARGAMASSA | | | | | | | | |
| | | C | RUPTURA NA ARGAMASSA | | | | | | | | |
| | | D | RUPTURA NA INTERFACE ARGAMASSA / COLA | | | | | | | | |
| | | E | RUPTURA NA COLA | | | | | | | | |
| | | F | RUPTURA NA INTERFACE COLA / PASTILHA | | | | | | | | |

Fonte: Próprio autor.

Tabela 11 - Ensaio de Resistência de Aderência à tração argamassa com adição de 10% de vermiculita

| Corpo de Prova | Diâmetro (mm) | Local do Ensaio | | Tensão (MPa) | Forma de Ruptura | | | | | | Espessura Revestimento (mm) |
|--------------------------|---------------|-----------------|---------------------------------------------------|--------------|------------------|---|---|---|---|---|-----------------------------|
| | | BLOCO | JUNTA | | A | B | C | D | E | F | |
| 1 | 50 | X | | 0,37 | | X | | | | | 20 |
| 2 | 50 | X | | < 0,30 | | | X | | | | 20 |
| 3 | 50 | X | | < 0,30 | X | | | | | | 20 |
| 4 | 50 | | X | 0,50 | | | X | | | | 20 |
| 5 | 50 | | X | 0,49 | | | X | | | | 20 |
| 6 | 50 | X | | 0,47 | | | X | | | | 20 |
| 7 | 50 | | X | > 0,59 | | | X | | | | 20 |
| 8 | 50 | | X | 0,56 | | | X | | | | 20 |
| MÉDIA DE TENSÃO (MPa) | | | | 0,45 | - | | | | | | |
| DESVIO PADRÃO (MPa) | | | | 0,11 | | | | | | | |
| COEF. DE VARIAÇÃO (%) | | | | 24,99 | | | | | | | |
| FORMA DE RUPTURAS | | A | RUPTURA NO SUBSTRATO | | | | | | | | |
| | | B | RUPTURA NA INTERFACE SUBSTRATO / ARGAMASSA | | | | | | | | |
| | | C | RUPTURA NA ARGAMASSA | | | | | | | | |
| | | D | RUPTURA NA INTERFACE ARGAMASSA / COLA | | | | | | | | |
| | | E | RUPTURA NA COLA | | | | | | | | |
| | | F | RUPTURA NA INTERFACE COLA / PASTILHA | | | | | | | | |

Fonte: Próprio autor.

Com os resultados do ensaio foi possível observar a maneira como foram rompidos os corpos de prova sendo em sua totalidade 8 rupturas no substrato, 3 na interface substrato/argamassa, 12 na argamassa e 1 na cola. O fato do modelo adotado para lançamento da argamassa ser sem chapisco contribui para a ruptura ocorrer no substrato revelando uma fragilidade na ligação substrato/argamassa. Os resultados com maiores valores forma obtidos quando a ruptura foi na argamassa.

Salienta-se que, em geral, resultados de ensaios de resistência de aderência à tração apresentam alta dispersão, resultando em coeficientes de variação da ordem de 10% a 35%, mas chegam muitas vezes à faixa de 50% a 60%. Em geral, na estatística, um CV igual a 25% é considerado como limite para se considerar uma amostra aceitável. No entanto, tendo em vista todos os aspectos que influenciam os resultados, aceitam-se, para resistência de aderência à tração, valores mais elevados. Neste sentido, alguns cuidados adicionais, além dos já alertados na norma, devem ser observados para a correta realização do ensaio (CARASEK, 2007).

O corte é uma operação que pode contribuir para a dispersão dos resultados, uma vez que na sua realização podem ser induzidas tensões (por torção) previamente ao arrancamento.

A etapa de corte com a serra copo para delimitação do corpo de prova gera muita poeira. Se o revestimento estiver úmido pode ocorrer formação de uma espécie de pasta dentro da cavidade de corte que provoca o travamento da serra copo, com um tranco que solicita previamente o revestimento a ser testado. Outro aspecto que deve ser observado é a ergonomia do operador no instante do corte. Ele deve estar bem posicionado em frente à parede e a furadeira deve estar perfeitamente na horizontal.

Tabela 12 - Ensaio de Resistência de Aderência à tração argamassa com adição de 20% de vermiculita

| Corpo de Prova | Diâmetro (mm) | Local do Ensaio | | Tensão (MPa) | Forma de Ruptura | | | | | | Espessura Revestimento (mm) |
|--------------------------|---------------|-----------------|---------------------------------------------------|--------------|------------------|---|---|---|---|---|-----------------------------|
| | | BLOCO | JUNTA | | A | B | C | D | E | F | |
| 1 | 50 | X | | 0,31 | X | | | | | | 20 |
| 2 | 50 | | X | 0,35 | | | X | | | | 20 |
| 3 | 50 | X | | 0,31 | X | | | | | | 20 |
| 4 | 50 | | X | 0,33 | X | | | | | | 20 |
| 5 | 50 | X | | 0,35 | X | | | | | | 20 |
| 6 | 50 | X | | < 0,00 | | | | | X | | 20 |
| 7 | 50 | | X | 0,41 | | X | | | | | 20 |
| 8 | 50 | | X | > 0,47 | | | X | | | | 20 |
| MÉDIA DE TENSÃO (MPa) | | | | 0,36 | - | | | | | | |
| DESVIO PADRÃO (MPa) | | | | 0,06 | | | | | | | |
| COEF. DE VARIAÇÃO (%) | | | | 16,25 | | | | | | | |
| FORMA DE RUPTURAS | | A | RUPTURA NO SUBSTRATO | | | | | | | | |
| | | B | RUPTURA NA INTERFACE SUBSTRATO / ARGAMASSA | | | | | | | | |
| | | C | RUPTURA NA ARGAMASSA | | | | | | | | |
| | | D | RUPTURA NA INTERFACE ARGAMASSA / COLA | | | | | | | | |
| | | E | RUPTURA NA COLA | | | | | | | | |
| | | F | RUPTURA NA INTERFACE COLA / PASTILHA | | | | | | | | |

Fonte: Próprio autor.

Observando que a norma classifica as argamassas com resistência igual ou superior a 0,30 como de classe A3 podemos indicar que as argamassas A0, A10 e A 20 superam essa resistência podendo serem aplicadas para revestimentos interno e externo.

Tabela 13 - Resistência de Aderência à tração argamassa

| Traço | Classe conforme resistência de Aderência à tração argamassa NBR 13281 (2017) |
|-------|------------------------------------------------------------------------------|
| A0 | A3 |
| A10 | A3 |
| A20 | A3 |

Fonte: Próprio autor.

4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

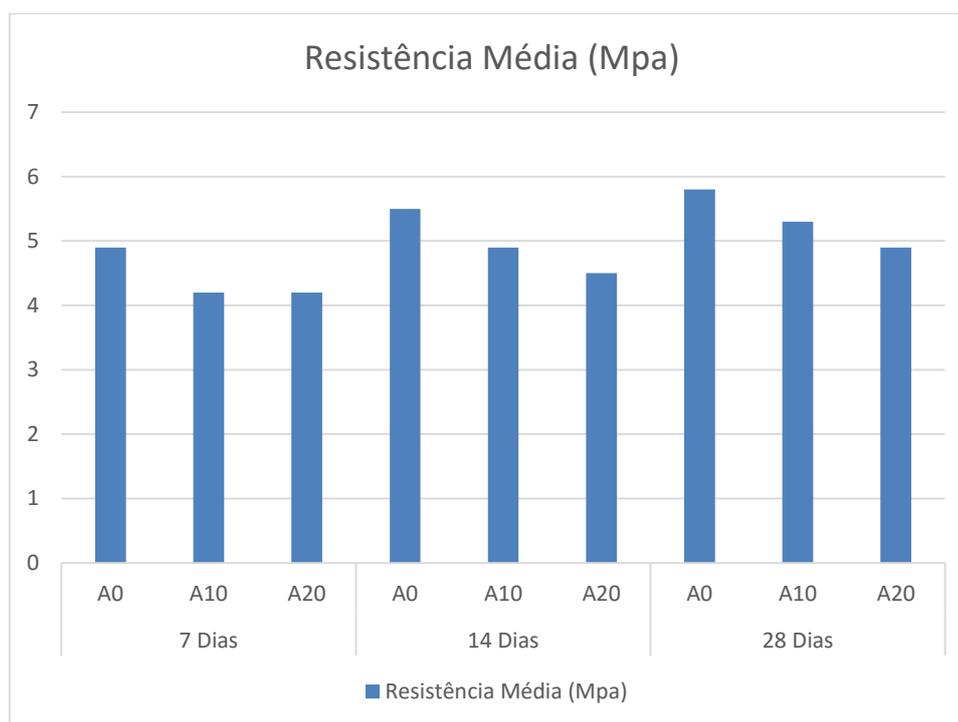
Conforme a interpretação dos valores obtidos no ensaio de resistência a compressão é possível dizer que todas as 3 argamassas atendem ao critério mínimo imposto pela NBR 13281 (2017), ou seja, mesmo com a adição de vermiculita na argamassa, estas apresentaram desempenho satisfatório para revestimento externo conforme a norma de resistência à compressão.

Tabela 14 - Resistência à compressão

| Traço | Resistência Média (Mpa) | | |
|-------|-------------------------|---------|---------|
| | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
| A0 | 4,9 | 5,5 | 5,8 |
| A10 | 4,2 | 4,9 | 5,3 |
| A20 | 4,2 | 4,5 | 4,9 |

Fonte: Próprio autor.

Figura 15 - Resistência à compressão



Fonte: Próprio autor.

Nos resultados aos 28 dias observou-se uma queda de resistência de 8,6% da argamassa A20 em relação a A10 e uma redução de 15,5% que em comparação com a A0 diretamente proporcional ao aumento da porcentagem de adição desse agregado, conforme os resultados apresentados no gráfico anterior.

Com esses resultados e conforme a NBR 13281 (2017) pode-se classificar a argamassa do traço A0 como classe P5 e as argamassas A10 e A20 como de classe P4 como mostra a tabela 15.

Tabela 15 - Resistência à compressão

| Traço | Classe conforme resistência à compressão NBR 13281 (2017) |
|-------|-----------------------------------------------------------|
| A0 | P5 |
| A10 | P4 |
| A20 | P4 |

Fonte: Próprio autor.

4.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA EM ESTADO FRESCO

Com os dados anotados no dia da fabricação das argamassas, foi possível adicioná-los a fórmula, para aferir a densidade de ambos.

Tabela 16 - Densidade de massa em estado fresco

| Traço | Densidade de massa em estado fresco (Kgm ³) |
|-------|---------------------------------------------------------|
| A0 | 2.381 |
| A10 | 2.152 |
| A20 | 2.036 |

Fonte: Próprio autor.

A partir do resultado encontrado, pode-se afirmar que as argamassas convencional, argamassa com adição de 10% de vermiculita e a argamassa com adição de 20% de vermiculita estão na classe D6, classificação conforme NBR 13281 (2017).

Com os resultados foi possível observar uma redução da densidade da massa em estado fresco de 9,6% da argamassa A20 em relação a A10 e uma redução de 14,5% que em comparação com a A0 diretamente.

No lançamento da argamassa com adição de vermiculita, segundo os profissionais, foi possível notar uma “leveza”, ou seja, na hora da aplicação já era possível perceber que a argamassa em estudo, tinha a densidade menor ou mais baixa em comparação com o emboço convencional. E com base nos resultados aferidos em balança de precisão de 0,1g, comprova a diminuição significativa de densidade já no estado fresco, isso se deve ao emprego da vermiculita expandida, que é um agregado leve.

4.5 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA EM ESTADO ENDURECIDO

De acordo com os procedimentos apontados na metodologia e pela NBR 13280 (2005), foi realizada a leitura na balança de precisão de 0,1g.

Após a leitura, aplicando na fórmula encontrou-se os valores da massa específica no estado endurecido da argamassa convencional, da argamassa com 10% de vermiculita e da argamassa com 20% de vermiculita, respectivamente.

Tabela 17 - Densidade de massa em estado endurecido

| Traço | Densidade de massa em estado endurecido (Kgm ³) |
|-------|-------------------------------------------------------------|
| A0 | 1.735 |
| A10 | 1.546 |
| A20 | 1.474 |

Fonte: Próprio autor.

Com os resultados observou-se uma queda de densidade no estado endurecido de 10,9% da argamassa A20 em relação a A10 e uma redução de 15,0% que em comparação com a A0.

Com a apresentação desses resultados constatou-se que a argamassa com adição de vermiculita, possui sua massa específica menor do que em relação a argamassa convencional, sendo assim, é possível afirmar que a diferença de massa entre elas resulta em até 261 kgm^3 , valor significativo, tendo em vista que esta diferença é em apenas 1 m^3 , e sabe-se que mesmo com pequena espessura de emboço, e em uma obra de pequeno porte se utiliza facilmente muito mais do que essa quantia, influenciando bastante na diminuição dos esforços sobre estruturas de fundação, tornando-a mais leve e conseqüentemente deixa a fundação mais barata que refletirá em uma redução do valor final da obra, a classificação da massa específica no estado endurecido das argamassas é apresentada na tabela 18.

Tabela 18 - Classe conforme densidade de massa em estado endurecido

| Traço | Classe conforme densidade de massa em estado endurecido NBR 13281 (2017) |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|
| A0 | M5 |
| A10 | M4 |
| A20 | M4 |

Fonte: Próprio autor.

4.6 TEMPERATURA NOS PRÓTOTIPOS

Para auxiliar na análise dos resultados foi levantado os dados de temperatura média registrados para a cidade de Palmas – TO conforme pesquisa no INMET para obtenção dos valores nos respectivos dias e horários conforme gráfico a seguir.

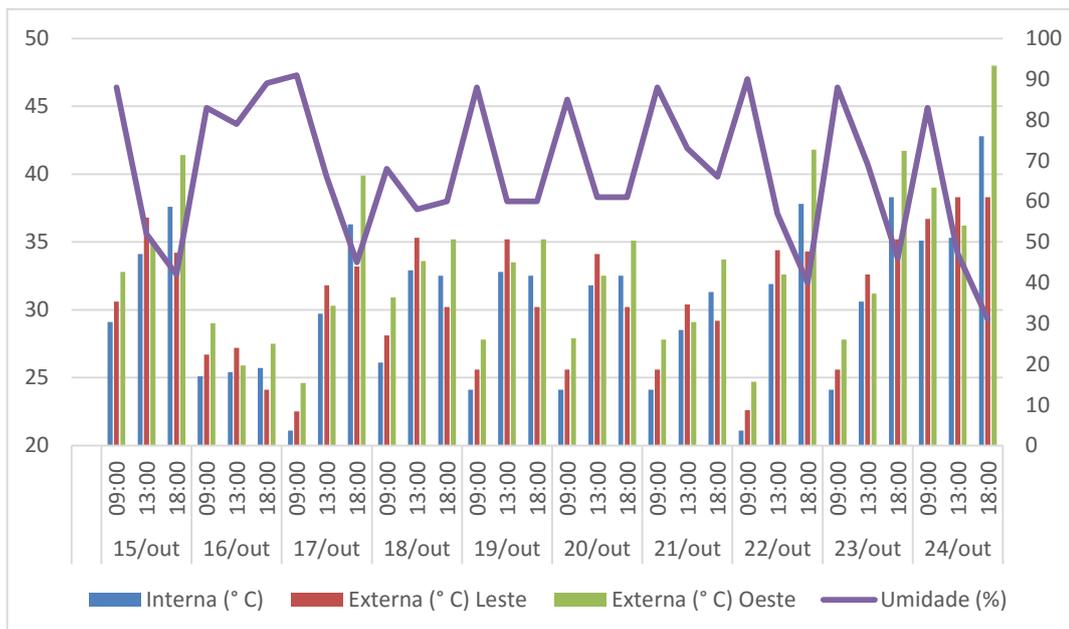
Figura 16 - Temperatura média em Palmas – TO entre os dias 15/10/2018 à 24/10/2018



Fonte: INMET (2018)

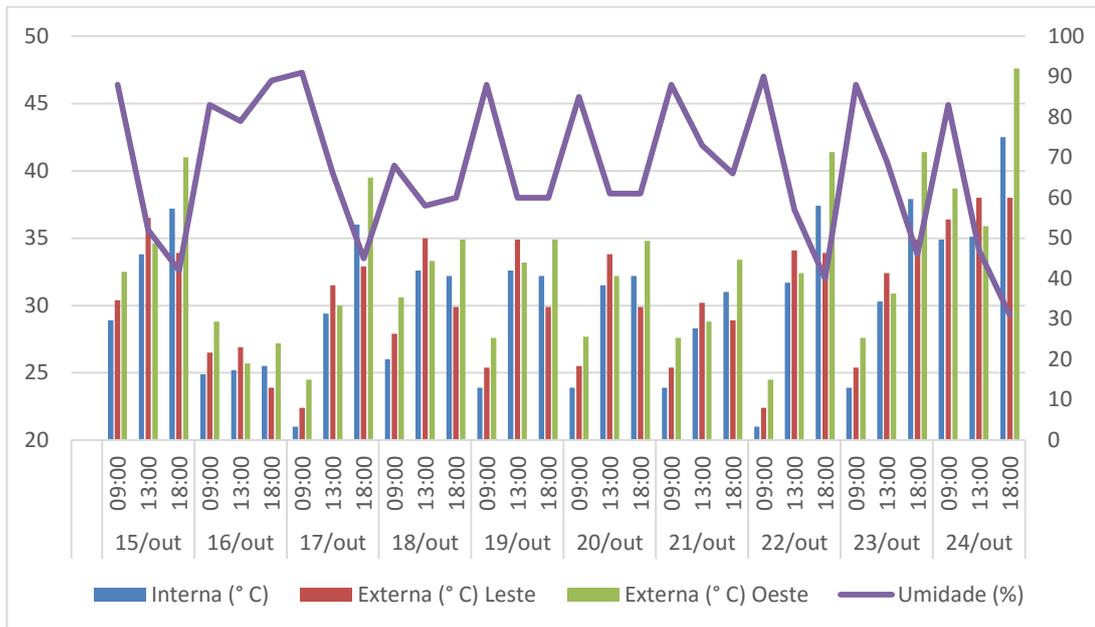
A coleta dos dados de temperatura nos protótipos foram realizadas entre os dias 15/10/2018 e 24/10/2018 para melhor compreensão e visualização da comparação das argamassas, os resultados estão dispostos nos apêndices. Os gráficos a seguir foram montados a partir dos resultados obtidos.

Figura 17 - Umidade e temperatura do protótipo com argamassa convencional



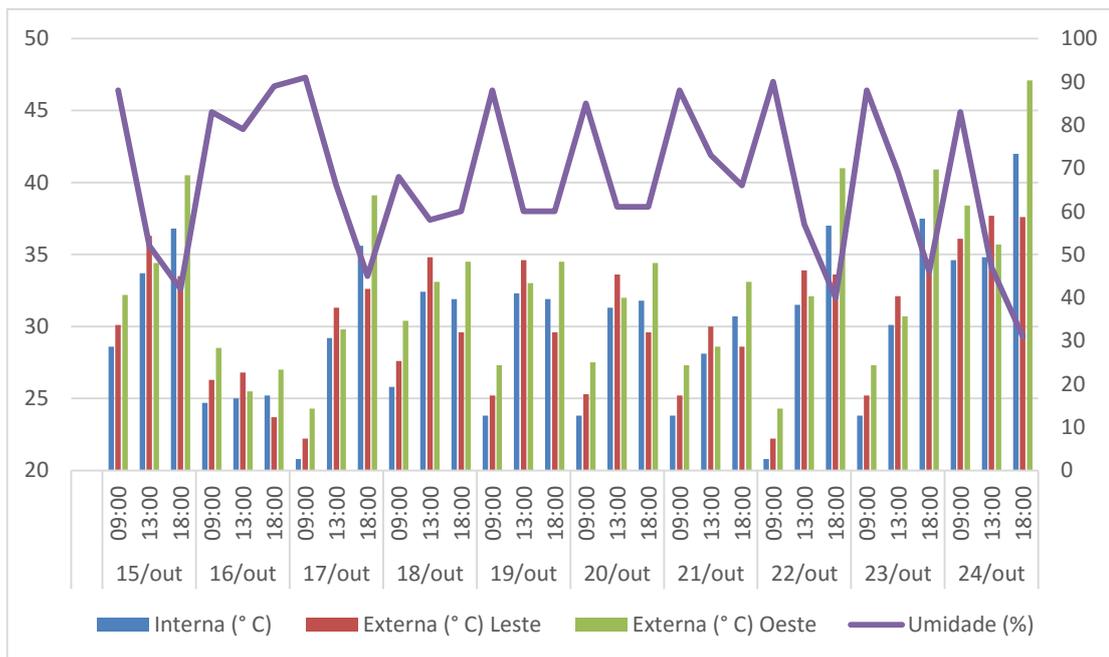
Fonte: Próprio autor

Figura 18 - Umidade e temperatura do protótipo com argamassa com adição de 10% de vermiculita



Fonte: Próprio autor.

Figura 19 - Umidade e temperatura do protótipo com argamassa com adição de 20% de vermiculita

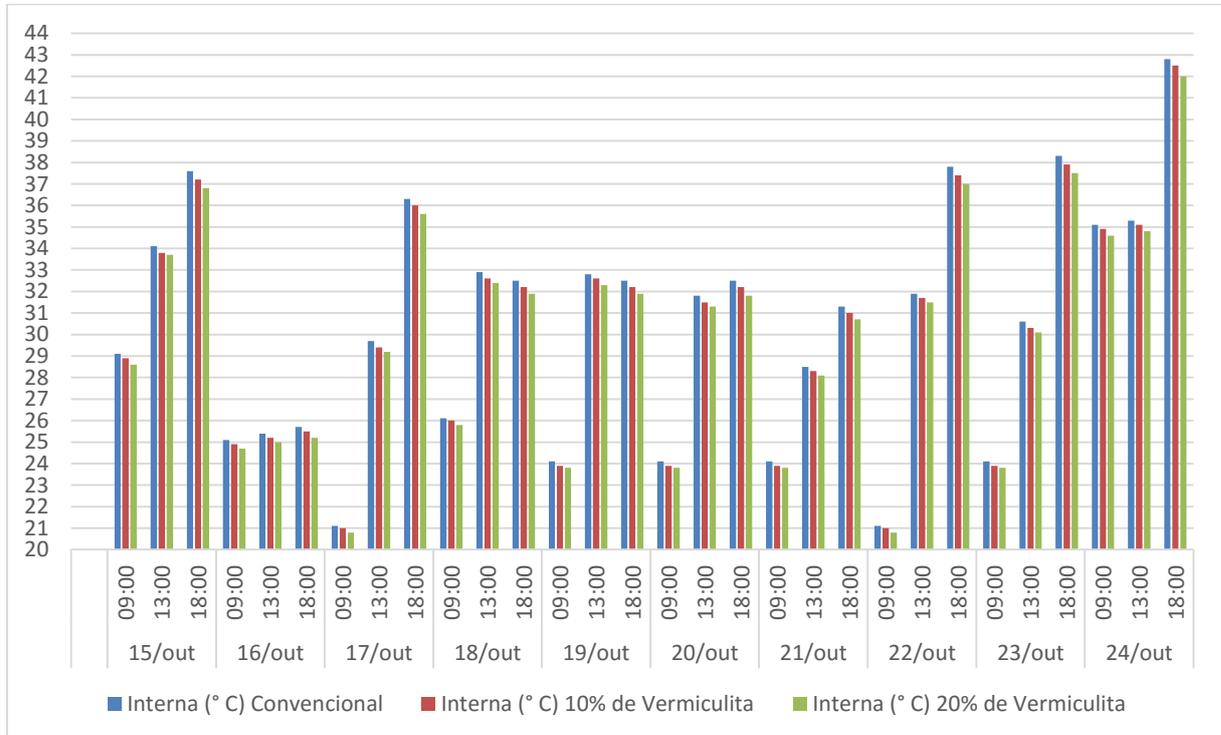


Fonte: Próprio autor.

Considerando os dados coletados nos protótipos foi possível notar que as temperaturas mais altas foram registradas nos dias com a menor umidade e que a fachadas leste apresenta maiores temperaturas na parte da manhã como coletado às 9:00h e a fachada oeste apresenta valores superiores na parte da tarde às 18:00h.

Os resultados mostram que ao adicionarmos a vermiculita na argamassa com proporções de 10% e 20% em relação a argamassa convencional é perceptível a mudança da temperatura do protótipo conforme gráficos a seguir.

Figura 20 - Comparativo das temperatura entre os protótipos

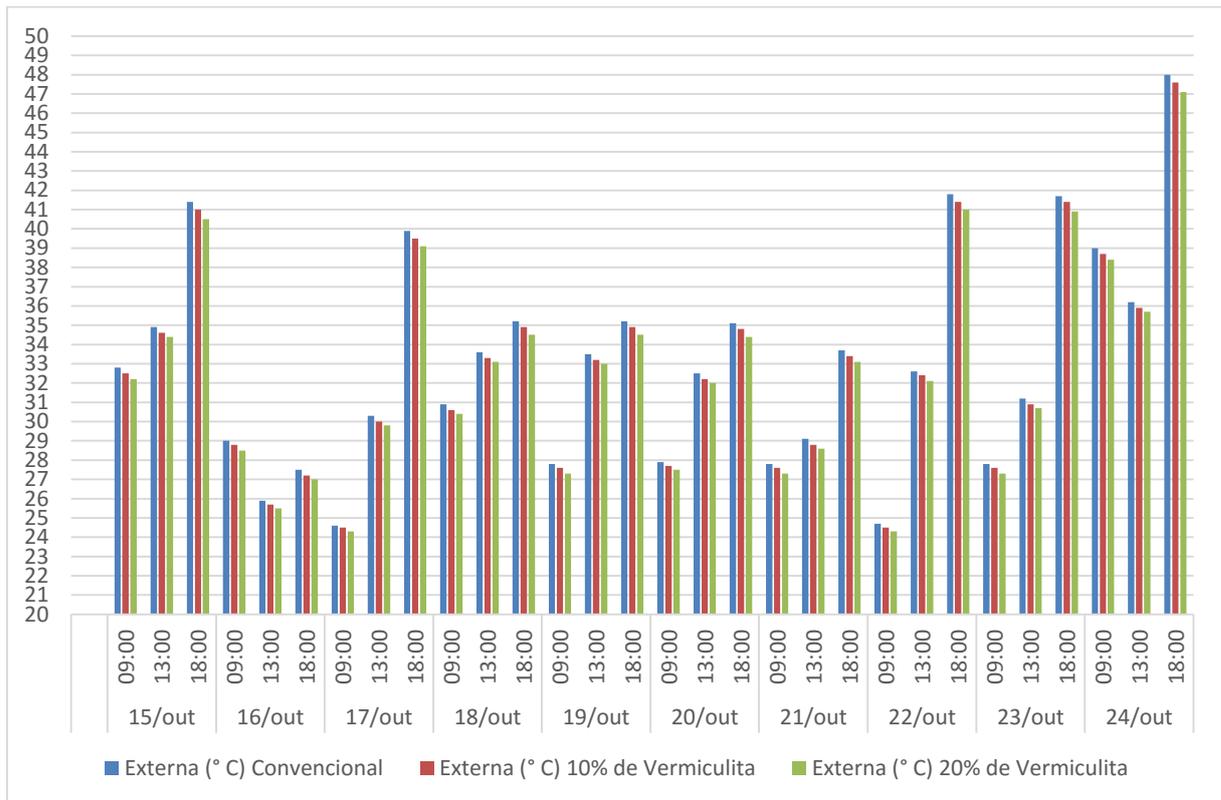


Fonte: Próprio autor.

A redução da temperatura foi alcançada com a utilização da vermiculita e o maior teor de adição dela influencia diretamente no valor absolvido pela camada do reboco conforme valores de temperaturas apresentados nos resultados.

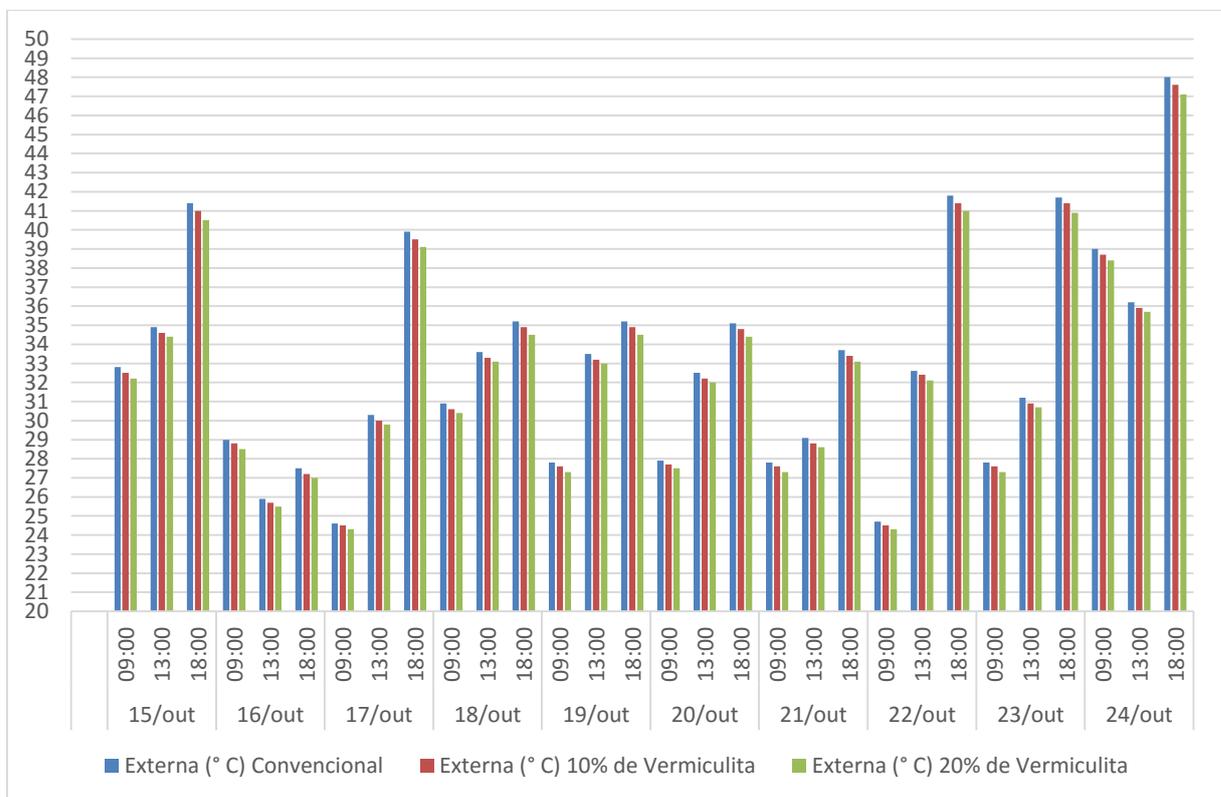
A eficiência do sistema proposto chegou a proporcionar uma diferença de 0,9° C na temperatura interna entre os protótipos de argamassa convencional e o com adição de 20% de vermiculita como pode ser observado nos resultados dos dias 15/10/2018, 22/10/2018 e 24/10/2018 ambos no horário das 18:00h. Ao observarmos que apenas a fachada externa foi revestida e que a espessura da camada dos protótipos foi de 2,0 cm o resultado de 0,9° C se mostra expressivo sendo recomendado que em trabalhos futuros utilizem maior proporção da vermiculita na camada de revestimento e/ou a aplicação de uma mais espessa para se alcançar maior diferença entre as temperaturas dos protótipos.

Figura 21 - Comparativo das temperatura externas na fachada leste entre os protótipos



Fonte: Próprio autor.

Figura 22 - Comparativo das temperatura externas na fachada oeste entre os protótipos



Fonte: Próprio autor.

4.7 RETRAÇÃO

O protótipo de argamassa convencional não chegou a apresentar fissuras ou trincas porém os com adição de vermiculita, mesmo passando por processo de aspersão de água durante dois dias apresentaram fissuração.

Figura 23 - Apresentação de fissura



Fonte: Próprio autor.

As fissuras foram registradas no sentido longitudinal seguindo as juntas entre os tijolos que é a região onde há presença de maior quantidade de argamassa. A quantidade foi maior no modelo com adição de 20% de vermiculita o que demonstra a necessidade de um aumento no consumo de água por parte da vermiculita para que não ocorra essas fissuras. A tabela 19 mostra a quantidade e tipo de fissura apresentada no enquadramento da superfície exposta de cada protótipo.

Tabela 19 - Fissuras registradas nos protótipos

| Traço | Fissuras inferiores a 5 cm | Fissuras superiores a 5 cm |
|-------|----------------------------|----------------------------|
| A0 | 0 | 0 |
| A10 | 1 | 0 |
| A20 | 2 | 1 |

Fonte: Próprio autor.

Pode-se observar que a grande quantidade de teor de finos pode acarretar em fissuras por retração, tendo em vista que as argamassas que mais apresentaram este aspecto foram as de vermiculita, sendo utilizada do tipo superfina, e por ser expandida possui seus poros expandidos que são preenchidos por ar, e a água por ser um fluido penetra nesses poros, são fatores que podem potencializar o processo.

5 CONCLUSÕES

Após a concepção dos protótipos e das argamassas propostos nos objetivos, foi possível perceber que as argamassas com adição de vermiculita obtiveram menores valores no ensaio de resistência a compressão e aderência à tração, porém com um desempenho satisfatório como argamassa de revestimento externo. Através do ensaio de determinação da massa específica no estado fresco, analisou-se que a argamassa em estado fluido já continha densidade inferior ao da argamassa convencional, apesar de pouco expressiva, sendo comprovado como argamassa leve através do ensaio de densidade de massa em estado endurecido, que demonstrou ser mais leve do que a argamassa de tipo convencional, tendo em vista que este tipo de argamassas impacta diretamente na fundação e no custo total da obra.

Foi constatado que o protótipo fabricado com argamassa convencional teve sua superfície mais lisa e com melhor acabamento. Já os protótipos com vermiculita apresentaram uma superfície mais granular, porém sem a necessidade de uma camada de reboco de acabamento ou regularização.

Foi apresentado o fenômeno de retração nos protótipos com adição de vermiculita, fato ocorrido principalmente no protótipo com adição de 20% devido a quantidade de finos no traço.

Apesar de fatores desfavoráveis (pé direito baixo, telha de fibrocimento) que influenciaram em uma menor amplitude de temperatura, houve mudança na temperatura interna dos protótipos sendo que o com adição de 20% na argamassa teve maior expressividade, obtendo melhor conforto térmico, conseguindo diferenças de $0,9^{\circ}\text{C}$ de diferença na temperatura interna comparada com os outros protótipos.

É notável que as temperaturas das paredes do protótipo com argamassa convencional obtiveram maiores temperaturas, sendo possível afirmar que as argamassas com adição de vermiculita absorve menos calor, em relação à argamassa convencional.

Este estudo conseguiu validar a eficiência e a propriedade do agregado leve estudado, demonstrando que com a adição da vermiculita é possível reduzir a temperatura interna da edificação e podendo ter grande economia nas fundações de edificações verticais de grande porte, tendo em vista que a argamassa com adição de 20% de vermiculita consegue ser 261 kgm^3 mais leve do que em relação a argamassa convencional.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**, NBR 13278. Rio de Janeiro, 2005a. 4p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**, NBR 13279. Rio de Janeiro, 2005c. 9p.

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

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura e determinação do índice de consistência**, NBR 13276. Rio de Janeiro, 2005b. 3p.

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, 2010. 11p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – especificação**, NBR 13749. Rio de Janeiro, 2013. 8p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia**, NBR 13529. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 7211 – Agregados: Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724: informação e documento trabalhos acadêmicos - apresentação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **BT 106: guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo: ABCP, 2002.

ADRIANO, J. **Concreto Leve Estrutural: Produção, Propriedades, Microestrutura e aplicações**. São Paulo: Pini, 2009.

BAUD, G. **Manual de pequenas construções: alvenaria e concreto armado**. São Paulo: Hemus, 2002

BAUER, F. **Materiais de Construção: Novos Materiais para Construção Civil**. 5. ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2000. v 1.

BAUER, F. **Materiais de Construção: Novos Materiais para Construção Civil**. 5. ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v 2.

BRASIL MINÉRIOS. **Vermiculita Expandida**. Dossiê técnico. 1. ed. Goiânia: 2014. 121 p.
CAIXA.Selo Casa Azul: Boas Práticas para Habitação mais Sustentável. São Paulo: Páginas & Letras, 2010. 204 p.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Publicação IPT 2378), 1995. 118 p. BoletimTécnico 68 IPT.

CINTRA, C. L. D.; PAIVA, A. E. M.; BALDO, J. B.. **Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus - Propriedades relevantes**. Cerâmica, [s.l.], v. 60, n. 353, p.69-76, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132014000100010>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132014000100010&lang=pt>. Acesso em: 21 abr. 2018.

FROTA, A. B; SCHIFFER, S R. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 243 p.

HENRIQUE, L; BANDUK, R; HISSAE, E. **Revestimentos de Argamassa: Boas Práticas em Projeto, Execução e Avaliação**. 1. ed. Porto Alegre: ANTAC, 2005. 96 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Relevo e Clima: O clima brasileiro**. 2015. Disponível em: <<http://7a12.ibge.gov.br/pt/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/relevo-e-clima>>. Acesso em 21 de abril de 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS et al. **Alvenaria de Vedação em Blocos Cerâmicos**. São Paulo: 2009. 65 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Clima: O que é clima**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=>>>. Acesso em 20 de abril de 2018.

KRÜGER, Eduardo L.; LAMBERTS, Roberto. Avaliação do desempenho térmico de casas populares. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 8, p. 1229-1236, 2000.

LUFA REFRAIARIOS. **Vermiculita Expandida**. Disponível em: <<http://www.lufa.com.br/refratriarios/vermicultura/28-vermiculita-expandida.html>>. Acesso em 12 de Abril de 2018.

NEVES, Idércio França Das. **Materiais de construção: Estudo de dosagem racional de concreto estrutural comum**. Pontifícia universidade católica do Paraná – Curitiba- PR. 2009.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Pini, 1997.

PETRUCCI, E. **Materiais de Construção**. 11. ed. São Paulo: Globo, 1979. 435 p.

RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção: Recebimento, Transporte Interno, Estocagem, Manuseio e Aplicação.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1995. 252 p.

SANTOS, C. C. N. **Critérios de projetabilidade para as argamassas industrializadas de revestimento utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal.** Brasília, 2003.135 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de pós-graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília, 2003.

TOCANTINS (Estado). Secretaria de Planejamento – SEPLAN. **Atlas do Tocantins.** 6. Ed. Palmas, 2012.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar.** 11. ed.São Paulo: Pini, 2011. 807 p.

ANEXO

APÊNDICE A – Temperaturas registradas nos protótipos

Tabela 20 - Temperaturas do protótipo com argamassa convencional

| Dia | Horário | Interna (° C) | Externa (° C) Leste | Externa (° C) Oeste | Umidade |
|--------|---------|---------------|------------------------|------------------------|---------|
| 15-out | 09:00 | 29,1 | 30,6 | 32,8 | 88,00% |
| | 13:00 | 34,1 | 36,8 | 34,9 | 52,00% |
| | 18:00 | 37,6 | 34,2 | 41,4 | 42,00% |
| 16-out | 09:00 | 25,1 | 26,7 | 29,0 | 83,00% |
| | 13:00 | 25,4 | 27,2 | 25,9 | 79,00% |
| | 18:00 | 25,7 | 24,1 | 27,5 | 89,00% |
| 17-out | 09:00 | 21,1 | 22,5 | 24,6 | 91,00% |
| | 13:00 | 29,7 | 31,8 | 30,3 | 66,00% |
| | 18:00 | 36,3 | 33,2 | 39,9 | 45,00% |
| 18-out | 09:00 | 26,1 | 28,1 | 30,9 | 68,00% |
| | 13:00 | 32,9 | 35,3 | 33,6 | 58,00% |
| | 18:00 | 32,5 | 30,2 | 35,2 | 60,00% |
| 19-out | 09:00 | 24,1 | 25,6 | 27,8 | 88,00% |
| | 13:00 | 32,8 | 35,2 | 33,5 | 60,00% |
| | 18:00 | 32,5 | 30,2 | 35,2 | 60,00% |
| 20-out | 09:00 | 24,1 | 25,6 | 27,9 | 85,00% |
| | 13:00 | 31,8 | 34,1 | 32,5 | 61,00% |
| | 18:00 | 32,5 | 30,2 | 35,1 | 61,00% |
| 21-out | 09:00 | 24,1 | 25,6 | 27,8 | 88,00% |
| | 13:00 | 28,5 | 30,4 | 29,1 | 73,00% |
| | 18:00 | 31,3 | 29,2 | 33,7 | 66,00% |
| 22-out | 09:00 | 21,1 | 22,6 | 24,7 | 90,00% |
| | 13:00 | 31,9 | 34,4 | 32,6 | 57,00% |
| | 18:00 | 37,8 | 34,3 | 41,8 | 40,00% |
| 23-out | 09:00 | 24,1 | 25,6 | 27,8 | 88,00% |
| | 13:00 | 30,6 | 32,6 | 31,2 | 69,00% |
| | 18:00 | 38,3 | 35,2 | 41,7 | 46,00% |
| 24-out | 09:00 | 35,1 | 36,7 | 39,0 | 83,00% |
| | 13:00 | 35,3 | 38,3 | 36,2 | 47,00% |
| | 18:00 | 42,8 | 38,3 | 48,0 | 31,00% |

Fonte: Próprio autor.

Tabela 21 - Temperaturas do protótipo com argamassa com adição de 10% de vermiculita

| Dia | Horário | Interna (° C) | Externa (° C) Leste | Externa (° C) Oeste | Umidade |
|--------|---------|---------------|------------------------|------------------------|---------|
| 15-out | 09:00 | 28,9 | 30,4 | 32,5 | 88,00% |
| | 13:00 | 33,8 | 36,5 | 34,6 | 52,00% |
| | 18:00 | 37,2 | 33,9 | 41,0 | 42,00% |
| 16-out | 09:00 | 24,9 | 26,5 | 28,8 | 83,00% |
| | 13:00 | 25,2 | 26,9 | 25,7 | 79,00% |
| | 18:00 | 25,5 | 23,9 | 27,2 | 89,00% |
| 17-out | 09:00 | 21,0 | 22,4 | 24,5 | 91,00% |
| | 13:00 | 29,4 | 31,5 | 30,0 | 66,00% |
| | 18:00 | 36,0 | 32,9 | 39,5 | 45,00% |
| 18-out | 09:00 | 26,0 | 27,9 | 30,6 | 68,00% |
| | 13:00 | 32,6 | 35,0 | 33,3 | 58,00% |
| | 18:00 | 32,2 | 29,9 | 34,9 | 60,00% |
| 19-out | 09:00 | 23,9 | 25,4 | 27,6 | 88,00% |
| | 13:00 | 32,6 | 34,9 | 33,2 | 60,00% |
| | 18:00 | 32,2 | 29,9 | 34,9 | 60,00% |
| 20-out | 09:00 | 23,9 | 25,5 | 27,7 | 85,00% |
| | 13:00 | 31,5 | 33,8 | 32,2 | 61,00% |
| | 18:00 | 32,2 | 29,9 | 34,8 | 61,00% |
| 21-out | 09:00 | 23,9 | 25,4 | 27,6 | 88,00% |
| | 13:00 | 28,3 | 30,2 | 28,8 | 73,00% |
| | 18:00 | 31,0 | 28,9 | 33,4 | 66,00% |
| 22-out | 09:00 | 21,0 | 22,4 | 24,5 | 90,00% |
| | 13:00 | 31,7 | 34,1 | 32,4 | 57,00% |
| | 18:00 | 37,4 | 33,9 | 41,4 | 40,00% |
| 23-out | 09:00 | 23,9 | 25,4 | 27,6 | 88,00% |
| | 13:00 | 30,3 | 32,4 | 30,9 | 69,00% |
| | 18:00 | 37,9 | 34,9 | 41,4 | 46,00% |
| 24-out | 09:00 | 34,9 | 36,4 | 38,7 | 83,00% |
| | 13:00 | 35,1 | 38,0 | 35,9 | 47,00% |
| | 18:00 | 42,5 | 38,0 | 47,6 | 31,00% |

Fonte: Próprio autor.

Tabela 22 - Temperaturas do protótipo com argamassa com adição de 20% de vermiculita

| Dia | Horário | Interna (° C) | Externa (° C) Leste | Externa (° C) Oeste | Umidade |
|--------|---------|---------------|------------------------|------------------------|---------|
| 15-out | 09:00 | 28,6 | 30,1 | 32,2 | 88,00% |
| | 13:00 | 33,7 | 36,3 | 34,4 | 52,00% |
| | 18:00 | 36,8 | 33,5 | 40,5 | 42,00% |
| 16-out | 09:00 | 24,7 | 26,3 | 28,5 | 83,00% |
| | 13:00 | 25,0 | 26,8 | 25,5 | 79,00% |
| | 18:00 | 25,2 | 23,7 | 27,0 | 89,00% |
| 17-out | 09:00 | 20,8 | 22,2 | 24,3 | 91,00% |
| | 13:00 | 29,2 | 31,3 | 29,8 | 66,00% |
| | 18:00 | 35,6 | 32,6 | 39,1 | 45,00% |
| 18-out | 09:00 | 25,8 | 27,6 | 30,4 | 68,00% |
| | 13:00 | 32,4 | 34,8 | 33,1 | 58,00% |
| | 18:00 | 31,9 | 29,6 | 34,5 | 60,00% |
| 19-out | 09:00 | 23,8 | 25,2 | 27,3 | 88,00% |
| | 13:00 | 32,3 | 34,6 | 33,0 | 60,00% |
| | 18:00 | 31,9 | 29,6 | 34,5 | 60,00% |
| 20-out | 09:00 | 23,8 | 25,3 | 27,5 | 85,00% |
| | 13:00 | 31,3 | 33,6 | 32,0 | 61,00% |
| | 18:00 | 31,8 | 29,6 | 34,4 | 61,00% |
| 21-out | 09:00 | 23,8 | 25,2 | 27,3 | 88,00% |
| | 13:00 | 28,1 | 30,0 | 28,6 | 73,00% |
| | 18:00 | 30,7 | 28,6 | 33,1 | 66,00% |
| 22-out | 09:00 | 20,8 | 22,2 | 24,3 | 90,00% |
| | 13:00 | 31,5 | 33,9 | 32,1 | 57,00% |
| | 18:00 | 37,0 | 33,6 | 41,0 | 40,00% |
| 23-out | 09:00 | 23,8 | 25,2 | 27,3 | 88,00% |
| | 13:00 | 30,1 | 32,1 | 30,7 | 69,00% |
| | 18:00 | 37,5 | 34,6 | 40,9 | 46,00% |
| 24-out | 09:00 | 34,6 | 36,1 | 38,4 | 83,00% |
| | 13:00 | 34,8 | 37,7 | 35,7 | 47,00% |
| | 18:00 | 42,0 | 37,6 | 47,1 | 31,00% |

Fonte: Próprio autor.