

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ALICE MENDONÇA SILVA

JENNIFER DE SOUZA BASTOS

**DESEMPENHO TÉRMICO EM PAREDES: ENSAIOS
UTILIZANDO PLACA ARDUÍNO**

ANÁPOLIS / GO

2018

**ALICE MENDONÇA SILVA
JENNIFER DE SOUZA BASTOS**

**DESEMPENHO TÉRMICO EM PAREDES: ENSAIOS
UTILIZANDO PLACA ARDUÍNO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: LEANDRO DANIEL PORFIRO

**COORIENTADOR: AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA
TEODORO DA SILVA**

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, ALICE MENDONÇA/ BASTOS, JENNIFER DE SOUZA

Desempenho térmico em paredes: ensaios utilizando placa arduino

69P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Vermiculita

2. Conforto térmico

3. Calor

4. Construção Civil

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Alice Mendonça; BASTOS, Jennifer de Souza. Desempenho térmico em paredes: ensaios utilizando placa arduino. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 69p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Alice Mendonça Silva

Jennifer de Souza Bastos

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
Desempenho térmico em paredes: ensaios utilizando placa arduino.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Alice Mendonça Silva

E-mail: alicemendoncasilva@hotmail.com



Jennifer de Souza Bastos

E-mail: jenniferbastos2@gmail.com

**ALICE MENDONÇA SILVA
JENNIFER DE SOUZA BASTOS**

**DESEMPENHO TÉRMICO EM PAREDES: ENSAIOS
UTILIZANDO PLACA ARDUÍNO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL

APROVADO POR:



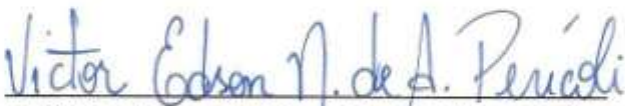
LEANDRO DANIEL PORFIRO, Doutor (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)



AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre (UniEvangélica)
(COORDINADOR)



WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)



VICTOR EDSON NETO DE ARAÚJO PERÍCOLI, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 30 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado a oportunidade de chegar até aqui. Agradeço a minha família, meus pais e minha irmã por terem me dado total apoio em dias de dificuldade, demonstrando que os mesmos são passageiros, e acima de tudo, por terem comemorado comigo cada conquista durante todo esse período. Também a todas as outras pessoas da minha família por quem tenho total apreço, pois elas também contribuíram para a minha caminhada.

Agradeço aos meus amigos de toda a vida por continuarem comigo durante a faculdade. E os amigos que conheci em meu curso, que compartilharam comigo todos os momentos vividos intensamente durante esses cinco anos. Agradeço aos meus professores, pois sem dúvida, contribuíram muito para a minha formação acadêmica. Em especial agradeço ao meu orientador Leandro Daniel Porfiro, pela paciência e apoio dado na realização desse trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que passaram em minha vida durante esse período e que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse alcançar o objetivo da minha caminhada.

Alice Mendonça Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me abençoado com a oportunidade de fazer esse curso, por ter me dado forças nos momentos mais difíceis em que pensei em desistir. Agradeço aos meus pais, pois sem eles eu não teria chegado até aqui, agradeço pela paciência, apoio e incentivo, por segurar minha mão quando estava dando os primeiros passos e por me deixarem crescer aos poucos assim como cresci tanto nesta graduação.

Agradeço em especial ao meu pai, que não está mais aqui, mas que fez tudo o que pôde para que eu pudesse chegar à faculdade. Agradeço aos meus amigos que apesar de todas as dificuldades permaneceram comigo, por além de colegas de classe ter ganhando pessoas maravilhosas para minha vida. Agradeço a todos os meus professores por todo o conhecimento que a mim foi passado, em especial ao meu professor e orientador Leandro Daniel Porfiro, por nos orientar de forma tão sábia, pela dedicação e por contribuir para o sucesso deste trabalho.

E por fim, agradeço a minha parceira de trabalho, Alice Mendonça Silva, por ter sido não só uma grande parceira como uma amiga maravilhosa que esteve comigo desde o primeiro ano de faculdade, agradeço pela paciência e parabenizo por ser tão dedicada na vida e em especial neste trabalho.

Jennifer de Souza Bastos

RESUMO

Com o desenvolvimento de novos materiais aplicados à construção civil, buscando proporcionar um aumento na qualidade das construções, na eficácia da relação custo-benefício, a engenharia civil tem se aperfeiçoado na busca do aumento da qualidade de vida da sociedade. A construção civil passa um momento de busca por materiais e métodos que possam proporcionar o conforto almejado pelos indivíduos. A utilização de materiais como a vermiculita na engenharia civil pode ser de grande valia, quando se trata de aspectos como conforto térmico, visto que se trata de um mineral que possui propriedades importantes, como bom isolamento térmico, além da questão econômica, ou seja, seu baixo custo. Logo, neste trabalho optou-se pela realização de ensaios, com o objetivo de medir temperaturas internas e externas em uma parede com reboco contendo o agregado leve vermiculita. Foi utilizada uma placa arduino e três sensores para coletar dados e a NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações como base para a realização de cálculos e obtenção de valores e resultados capazes de proporcionar análises sobre o assunto.

PALAVRAS-CHAVE: Vermiculita. Conforto térmico. Engenharia Civil.

ABSTRACT

With the development of new materials applied to civil construction, seeking a growth in the quality of constructions, in the construction of the cost-benefit ratio, a civil engineering has been improved in the search for the increase of the quality of life of the society. Civil construction goes through a search for materials and processes that allow comfort from individuals. The use of materials such as vermiculite in civil engineering can be of great value when it comes to a thermal thermal benefit, since it is a mineral that extracts large properties, such as good thermal insulation, besides the economic issue, or its low cost. Therefore, this work opted for the realization of tests, with the objective of measuring the internal and external temperatures in a wall with plaster content the light vermiculite aggregate. A plate was built with three data sensors and one NBR 15220 - Thermal Performance of Buildings as the basis for calculations and for the search of values and results.

KEY WORDS:Vermiculite. Thermal comfort. Civil Engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vermiculita utilizada na construção civil.....	18
Figura 2 – Estrutura cristalina do mineral vermiculita.....	19
Figura 3 – Vermiculita esfoliada e crua.....	20
Figura 4 – Produção mundial de vermiculita.....	23
Figura 5 – Produção de vermiculita expandida.....	24
Figura 6 – Demanda global de vermiculita por setor.....	26
Figura 7 – Tipos de argamassa de revestimento.....	32
Figura 8 – Troca de calor em paredes.....	36
Figura 9 – Condução.....	37
Figura 10 – Irradiação.....	38
Figura 11 – Sensor DS18B20 aplicado na parede.....	39
Figura 12 – Sensor DS18B20.....	40
Figura 13 – Placa arduíno.....	41
Figura 14 – Sensor 1.....	42
Figura 15 – Sensor 2.....	42
Figura 16 – Sensor 3.....	43
Figura 17 – Representação das seções 1,2 e 3.....	44
Figura 18 – Sensor 1.....	51
Figura 19 – Sensor 2.....	51
Figura 20 – Sensor 3.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química das vermiculitas obtidas no Brasil expressa em %.....	20
Tabela 2 – Densidade e condutividade térmica.....	27
Tabela 3 – Características físicas da vermiculita expandida.....	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação granulométrica da vermiculita natural.....	23
Quadro 2 – Depósitos de vermiculita identificados no Brasil.....	25
Quadro 3 – Comparativo entre as paredes.....	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 Objetivo geral.....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 METODOLOGIA.....	16
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2 VERMICULITA E SUAS PROPRIEDADES.....	18
2.1 CARACTERÍSTICAS.....	18
2.2 PROPRIEDADES.....	21
2.3 VERMICULITA NO BRASIL.....	23
3 USO DA VERMICULITA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	26
3.1 VERMICULITA COMO ISOLANTE TÉRMICO.....	26
3.2 VERMICULITA UTILIZADA NA ARGAMASSA.....	28
4 REVESTIMENTO ARGAMASSADO.....	30
4.1 DEFINIÇÃO.....	30
4.2 PRINCIPAIS UTILIZAÇÕES E FUNÇÕES DA ARGAMASSA.....	31
4.3 PRINCIPAIS TIPOS DE ARGAMASSA.....	31
5 TROCAS DE CALOR EM PAREDES COM REBOCO COM VERMICULITA....	35
5.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	35
6 METODOLOGIA E RESULTADOS.....	39
6.1 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
6.2 RESULTADOS.....	41
6.2.1 Divisão das seções.....	43
6.2.2 Cálculo das áreas.....	44
6.2.3 Cálculo da resistência térmica.....	44
6.2.4 Cálculo da transmitância térmica.....	46
6.2.5 Cálculo da capacidade térmica.....	47
6.2.6 Cálculo do atraso térmico.....	48
6.2.7 Cálculo do fator solar.....	49
6.2.8 Cálculo do fluxo solar.....	50

6.2.9 Cálculo da resistência térmica.....	52
6.2.10 Cálculo da transmitância térmica.....	53
6.2.11 Cálculo da capacidade térmica.....	53
6.2.12 Cálculo do atraso térmico.....	55
6.2.13 Cálculo do fator solar.....	55
6.2.14 Cálculo do fluxo solar.....	55
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
REFERÊNCIAS.....	58
ANEXOS.....	65
ANEXO A.....	65
ANEXO B.....	66
ANEXO C.....	67
ANEXO D.....	68

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Civil é uma das áreas da ciência que está em constante evolução, devido às pesquisas científicas e tecnológicas que empregam novos materiais, novas técnicas e equipamentos no melhoramento da construção civil, promovendo maior segurança, rapidez e qualidade.

Com o desenvolvimento da Ciência de Materiais, os materiais utilizados na construção civil se modificaram ao longo do tempo. Atualmente é possível encontrar no mercado inúmeros tipos de materiais para diversos tipos construtivos e finalidades.

Um dos almejos principais na construção civil é projetar uma edificação que permita o conforto daqueles que forem utilizá-la. Para Gomes (2003)

O ser humano é um animal homeotérmico, a temperatura do seu organismo tende permanecer constante, qualquer que seja a condição climática gerando sensibilidade às variações climáticas (GOMES, 2003, p.24).

Porém as mudanças climáticas que vem ocorrendo ao longo dos anos, principalmente as ocorridas na última década, tem se tornado um desafio à área de engenharia. Visto que está cada vez mais difícil alcançar esse objetivo, principalmente com relação ao conforto térmico.

Segundo Ashrae (2013) o conforto térmico é definido como “aquela condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico e é avaliada por avaliação subjetiva” (ASHRAE, 2013, p.3). No Brasil, esse desafio é ainda maior, pois possui uma grande variedade de climas: equatorial, tropical, tropical de altitude, tropical atlântico, subtropical e semiárido.

Usualmente, não só a questão do clima tem trazido dificuldades com relação a esse aspecto, mas também a crise energética, onde a energia está mais escassa e conseqüentemente mais cara. O que leva os indivíduos a se interessarem cada vez mais por ambientes que lhes tragam o conforto pelo meio construtivo, sem a necessidade de outros equipamentos, como o ar-condicionado para tal finalidade.

Sem dúvida, com relação à engenharia civil, a preocupação com o conforto deve acontecer no início do projeto, como por exemplo, levando em consideração o posicionamento da edificação no terreno, entre outros aspectos que podem e devem ser observados. Visto que, para uma estufa, por exemplo, é importante que o calor proveniente do Sol penetre e que a maior parte dele permaneça no ambiente, porém quando se trata de um

prédio, com muitos escritórios isso não pode ocorrer. Fato é que para a obtenção do conforto térmico, a escolha de materiais e métodos construtivos faz toda diferença.

Neste sentido, a vermiculita, um agregado mineral que possui como uma de suas principais características a baixa condutividade térmica e acústica, e sendo o Brasil o 3º maior produtor desse agregado do mundo, é importante trazer tal discussão a sociedade como uma possível opção para o problema térmico dos ambientes.

Neste trabalho, será discutida a utilização da vermiculita na construção civil, sendo utilizada como agregado leve no reboco e serão realizados ensaios experimentais para medir a temperatura e realizar cálculos e análises correspondentes às propriedades térmicas da parede com esse tipo de revestimento na cidade de Anápolis-GO.

1.1 JUSTIFICATIVA

Sendo a vermiculita um ótimo isolante térmico e com baixos custos, acredita-se que estudos como o que será realizado neste trabalho, podem contribuir para ampliar o conhecimento acadêmico acerca da utilização e eficácia da mesma quando utilizada no ramo da construção civil, relacionada ao conforto térmico dos ambientes.

Outro aspecto importante que justifica este estudo é a utilização de tecnologias de arduíno, que são circuitos eletrônicos versáteis que possibilitam a construção de instrumentos de coleta de dados, que estando calibrados, podem coletar dados confiáveis para que sejam analisados.

“O projetista deve conhecer os materiais que tem a seu dispor.” (BAUER, 2000, p.1). Logo, o estudo aprofundado de técnicas, como um tipo de reboco a ser utilizado, pode servir de apoio à pesquisa de alunos, professores e pesquisadores.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar ensaios e análises de transferência de calor em uma parede com reboco com vermiculita.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Discutir a constituição e a importância da vermiculita.
- ✓ Construir um sistema de medida de temperatura utilizando placa Arduino e sensor de temperatura.
- ✓ Medir a temperatura em um período de tempo, de uma parede com reboco com vermiculita e em uma parede com reboco convencional para comparação.
- ✓ Calcular a transferência de calor das paredes.
- ✓ Analisar e discutir os resultados.

1.3 METODOLOGIA

Na primeira etapa desta pesquisa será realizada uma revisão bibliográfica sobre a temática, cujos descritores principais serão vermiculita, suas propriedades e utilização na engenharia civil, revestimento argamassado e troca de calor em paredes, nos bancos de dados disponíveis como o Banco Digital de Teses e Dissertações.

Na segunda etapa, será construído um aparelho para coletar dados de temperatura, utilizando uma placa arduino com acoplamento de três sensores. Os ensaios serão realizados no período do inverno, das 08h00min às 17h00min.

Na terceira etapa, os dados serão analisados e tabulados para produção de gráficos que mostrem o comportamento da temperatura ao longo do dia, além de cálculos relacionados às propriedades térmicas especificadas na NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações.

Ao final do trabalho pretende-se publica-lo em revista especializada ou apresentação em congresso da área.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será composto por sete capítulos. No primeiro capítulo estão a introdução, justificativa, objetivos e metodologia. No segundo capítulo será tratado sobre a vermiculita e suas propriedades. No terceiro capítulo será discutido sobre o uso da vermiculita na engenharia civil. No quarto capítulo será discutido sobre o revestimento argamassado, que foi a forma de utilização da vermiculita para a realização do trabalho. O quinto capítulo tratará da troca de calor em paredes com reboco com vermiculita. No sexto capítulo será

discutida a metodologia aplicada detalhando as técnicas e métodos utilizados para medição e análise das trocas de calor. Ainda neste capítulo serão discutidos e analisados os dados coletados. E por fim apresentam-se as considerações finais.

2 VERMICULITA E SUAS PROPRIEDADES

Segundo Hindman (2012 apud Cintra, 2013) a vermiculita tem esse nome baseado na semelhança existente entre o seu movimento ao se expandir e as contrações dos vermes, ou seja, “o nome vermiculita é derivado do latim *vermiculari* que significa semelhante a verme” (PERALTA, 2009, p. 5).

Ela foi descoberta nos Estados Unidos, mais especificadamente em Wonchester, Massachusetts, no século XX, por Tomas Webb. Se tratando de um mineral industrial, pode ser encontrada em vários países como: Austrália, Brasil, Bulgária, China, Rússia, África do Sul, Uganda, Estados Unidos e Zimbábue. “Vermiculita é o nome geológico dado a um grupo de minerais, laminares hidratados que são silicatos de alumínio-ferro-magnésio, assemelhando-se a mica em aparência” (FRANÇA et al., 2016, p. 127).

2.1 CARACTERÍSTICAS

“A vermiculita é um argilomineral derivado de alteração de micas, que possui a peculiaridade de expandir quando submetida a altas temperaturas, e é dessa característica que decorre seu valor industrial” (PERALTA, 2009, p. 2). A figura 1 ilustra a vermiculita.

Figura 1 – Vermiculita utilizada na construção civil



Fonte: MACEDO, 2008.

Segundo Lobato (2009)

Mica, do latim micare (brilho), é um termo genérico aplicado ao grupo de minerais constituído por silicatos hidratados de alumínio, potássio, sódio, ferro, magnésio e por vezes, lítio, cristalizado no sistema monoclinico, com diferentes composições químicas e propriedades físicas (LOBATO, 2009, p.3).

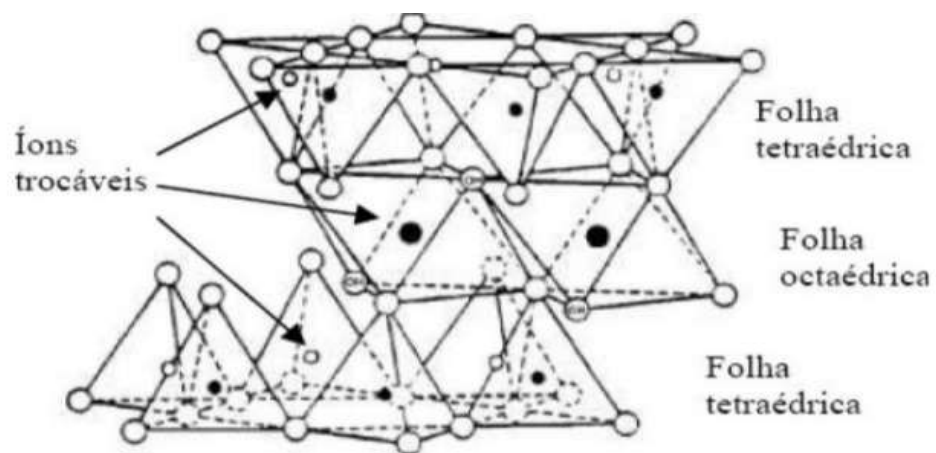
De acordo com Lima (2014), a mica possui como variedades mais comuns do ponto de vista comercial a muscovita, biotita, flogopita, lepidolita, e a vermiculita, que é o objeto de estudo deste trabalho.

Para Ferreira (2009 apud Silva et.al.,2015)

A vermiculita é um argilomineral existente na natureza na forma de macro e micro cristais. Esse argilomineral apresenta estrutura constituída por folhas finas de cristais, normalmente ligados face a face, originando a célula unitária, que é constituída de duas folhas tetraédricas separadas por uma octaédrica, que dessa maneira, são unidos entre si por átomos de oxigênio através de ligação covalente, tornando-a estável e apresentando cátions tocáveis em posições interlamelares (FERREIRA, 2009 apud SILVA et al., 2015, p. 546).

A figura 2 ilustra a mineralogia da vermiculita conforme foi descrita acima.

Figura 2 – Estrutura cristalina do mineral vermiculita



Fonte: GOMES, 2007 apud SILVA, 2016.

Gerada a partir da alteração da mica, a vermiculita possui fórmula química $[(Mg, Fe^{+2}, Al)_3 (Al, Si)_4 O_{10} (OH)_2 \cdot 4H_2O]$ (SILVA, 2015). Porém, “possui uma faixa de composições que depende da composição da mica que a originou, da variação química durante o intemperismo

e da troca iônica durante o processo de formação” (LUZ; LINS, 2005, p. 886). A tabela 1 mostra a composição das vermiculitas obtidas no Brasil.

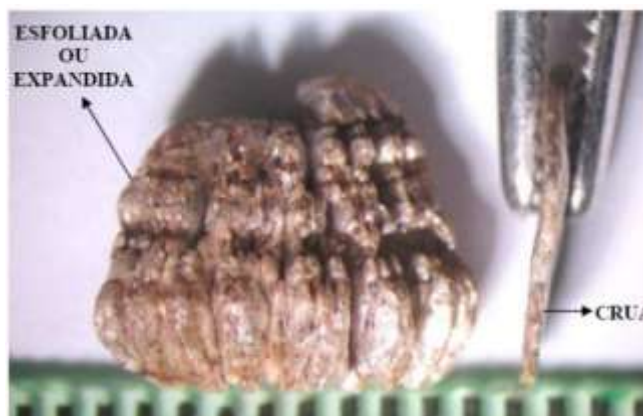
Tabela 1 – Composição química das vermiculitas obtidas no Brasil expressa em %

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

Fonte: UGARTE et al., 2004 apud SILVA, 2016.

A vermiculita pode ser encontrada na sua forma crua, ou seja, não expandida e na forma esfoliada, expandida, conforme a figura 3.

Figura 3 – Vermiculita esfoliada e crua



Fonte: ARAUJO, 2009.

No seu estado natural, possui uma alternância de camadas de mica e camadas duplas de água. Enquanto na forma expandida, possui baixa densidade, é quimicamente ativa e biologicamente inerte.

De acordo com Silva (2006), quando aquecida acima de 374°C, a água presente entre as palhetas se transforma em vapor e a pressão faz com que as placas se expandam em ângulos retos com as clivagens. O que faz com que se obtenha isolamento térmico e acústico, além de leveza, é o fato de que os espaços vazios provenientes da expansão se transformam em ar.

A sua principal característica é se expandir quando submetida a altas temperaturas, sob forma de camadas, ou seja, o seu maior índice de utilização é na forma expandida, ou esfoliada.

2.2 PROPRIEDADES

A vermiculita possui inúmeras propriedades importantes, como por exemplo, a redução no peso da estrutura quando utilizada na construção civil como agregado nas argamassas, sem alterar as propriedades importantes das mesmas.

Segundo Cintra (2013), podemos citar: baixa densidade, baixa condutividade térmica, incombustibilidade, alta retenção de água, elevada capacidade de troca iônica e baixa condutividade acústica. Logo, temos que:

- Baixa densidade, pois possui massa unitária entre 70 e 140 kg/m³;
- Baixa condutividade térmica, visto que após a expansão, torna-se um material de alta porosidade;
- Incombustibilidade, suporta temperaturas até 1100°C sem alteração de sua estrutura, por não possuir componentes orgânicos;
- Alta retenção de água por conta de sua porosidade, ela pode reter e aumentar até 500% do seu volume;
- Elevada capacidade de troca iônica, visto que possui a capacidade de troca de íons, por conta de sua configuração química e estruturação interna;
- Baixa condutividade acústica, podendo apresentar, quando utilizada em argamassas, redução de até 50% dos ruídos.

É importante ressaltar que a presença de eventuais impurezas na vermiculita comercializada pode acarretar algumas mudanças em suas propriedades físicas e químicas,

visto que “a vermiculita pura teoricamente poderia se expandir até 30 ou 40 vezes o seu volume original, no entanto, a vermiculita comercializada na forma natural expande, em média, de 8 a 12 vezes” (UGARTE et al., 2004 apud SILVA, 2016).

O uso da vermiculita está crescendo à medida que estudos são realizados levando em consideração suas propriedades, exemplo disso é o fato de que ela pode “contribuir para a minimização de patologias comuns nas argamassas convencionais” (CINTRA, 2013, p. 4). Como por exemplo, o fato de dificultar o crescimento dos fungos, por conta de sua capacidade de troca de cátions.

De acordo com Peralta (2009), a vermiculita possui características peculiares e se encontra na lista de materiais com propostas de inovação tecnológica, ou seja, não é considerado ainda um material convencional. Sua propriedade isolante térmica é devido a sua alta temperatura de sintetização e todas as características citadas acima permitem que ela seja utilizada em várias áreas, como:

- Construção civil: isolante térmico e acústico em paredes na forma de revestimento, agregado leve para concreto, miolo de divisórias e portas corta-fogo, isolante para lajes, impermeabilizante em lajes de cobertura, moldes de proteção de estruturas metálicas;
- Indústria: revestimento para tubulações, isolante termo acústico para construção naval, isolantes térmicos têxteis, embalagens a prova de choque e fogo, revestimento de moldes para fundição de ferro e alumínio, isolante de câmaras frias;
- Agricultura e horticultura: retentores de água em agricultura, germinação de sementes, condicionador de solos ácidos e argilosos, fonte de nutrientes no período de estiagem;
- Esporte: casco de barcos;
- Química: controladores e reguladores da densidade, substituição de asbestos, elaboração de formulações organominerárias;
- Ambiental: coletor de hidrocarboneto no meio aquoso, ou seja, utilizada como agente hidrofóbico.

Atualmente a vermiculita conta com mais de 200 aplicações industriais. Sendo, em sua forma fina, utilizada na construção civil e na sua forma grossa, na horticultura. Ou seja, a escolha do seu uso depende da granulometria, visto que para esse material podem ser encontrados nos seguintes tipos: grossa, média, fina, superfina e micrometro, como representado no quadro 1.

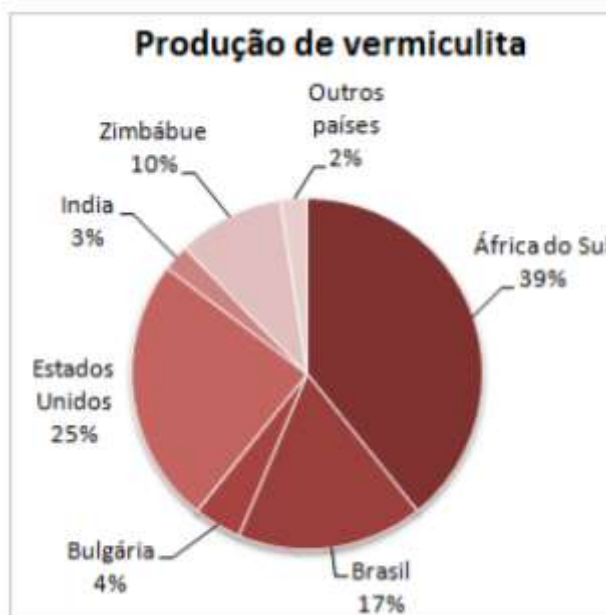
Quadro 1 – Classificação granulométrica de vermiculita natural

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

Fonte: REIS, 2002 apud LUZ; LINS, 2005.

2.3 VERMICULITA NO BRASIL

Atualmente o Brasil é o considerado o terceiro maior produtor mundial de vermiculita, ficando atrás apenas da África do Sul e dos Estados Unidos, conforme ilustra a figura 4.

Figura 4 – Produção mundial de vermiculita

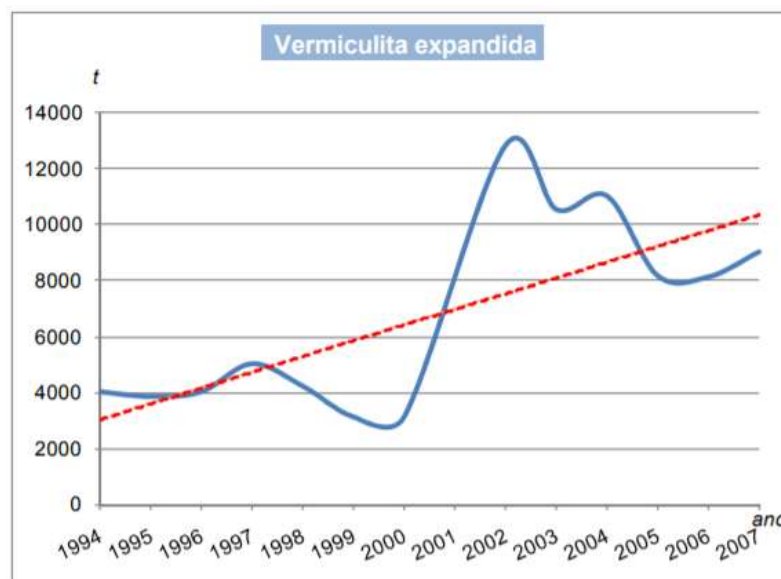
Fonte: TANNER, 2015 apud FRANÇA et al., 2016, p. 130.

A vermiculita foi identificada no Brasil inicialmente em Minas Gerais, no ano de 1942, porém a sua exploração começou apenas na década de 50 em São Paulo e posteriormente na cidade de São Luiz de Montes Belos, situado no estado de Goiás. Em 1980,

no município de Ouvidor, também localizado em território goiano, no complexo ultramáfico de Catalão foi descoberta uma jazida.

A partir desse momento, a produção de vermiculita no Brasil cresceu cada vez mais, como ilustra a imagem 5.

Figura 5 – Produção de vermiculita expandida



Fonte: SUMÁRIO MINERAL apud SZNELWAR; SCALABRIN, 2009.

Para Sznelwar e Scalabrin (2009)

A produção de vermiculita expandida no país cresceu de 1993 a 2005, em torno de 233% o que significa uma média de 6,68% ao ano no período, seguindo-se depois uma queda de 10% anual, apresentando nos últimos anos recuperação (SZNELWAR; SCALABRIN, 2009, p. 8).

Segundo Peralta (2009), atinge cerca de 200 milhões de dólares ao ano o comércio de vermiculita no mundo. Embora seja comercializada não expandida, sua utilização é na maioria dos casos na forma expandida.

Atualmente há vários depósitos de vermiculita em vários estados brasileiros, como, Goiás, Paraíba, Piauí, Bahia, São Paulo. A maior reserva de vermiculita no Brasil encontra-se em Catalão no estado de Goiás (CASTRO, 2002 apud CINTRA, 2013). O quadro 2 apresenta a distribuição das reservas de vermiculita no país.

Quadro 2 – Depósitos de vermiculita identificados no Brasil

Depósito	Localização	Tipo	Vermiculita 10 ⁶ (t)
Catalão I	Ouvidor (GO)	Carbonatito	10 (20%)
Queimada Nova	Queimada Nova (PI)	Máfico e ultramáfico	1,95 (20%)
Santa Luzia	Santa Luzia (PB)	Máfico e ultramáfico	> 7 (30%)
Sancrelândia	Sancrelândia (GO)	Máfico e ultramáfico	1,5 (30%)
Montes Belos	Montes Belos (GO)	Máfico e ultramáfico	2 (30%)
Brumado	Brumado (BA)	Máfico e ultramáfico	2 (25%)

Fonte: REIS, 2002 apud LUZ; LINS, 2005.

As empresas que atuam no mercado de vermiculita no Brasil são de pequeno e médio porte. Porém de acordo com a capacidade de produção e expansão brasileira, o país poderá se transformar em um produtor superior a maior empresa mundial de vermiculita. Este aspecto mostra a possibilidade de expansão deste mercado no Brasil, porém ainda é uma assunto pouco estudado e conhecido no meio acadêmico.

3 USO DA VERMICULITA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A vermiculita está ganhando espaço na construção civil, sendo muito comum seu uso na forma expandida na composição de argamassas. Visto que ela pode ser utilizada como uma solução leve, fácil e econômica para regularização, enchimento e nivelamento de lajes e pisos. E também traz ótimos resultados quanto a proteção de impermeabilização de lajes de cobertura.

A construção civil é responsável por 21% da demanda global de vermiculita, conforme a figura 6.

Figura 6 – Demanda global de vermiculita por setor



Fonte: MC GROUP, 2016 apud FRANÇA et al., 2016.

Por ter grandes propriedades de isolamento térmico, pode também ser utilizada na fabricação de portas corta-fogo.

Sua composição tem ótimo desempenho no isolamento acústico, proporcionando que seja utilizada na construção de câmaras de som, bem como na utilização como forma de isolamento acústico para fins residenciais, além de ser uma ótima opção de agregado leve para concreto estrutural, por diminuir o peso da obra em até 78% (NCT BRASIL, 2016).

3.1 VERMICULITA COMO ISOLANTE TÉRMICO

A variação da temperatura ao longo do dia provoca dilatação das lajes e conseqüentemente nas impermeabilizações, esse tipo de evento acaba gerando fissuras que

ocasionam infiltrações e estas acabam inibindo a ação dos impermeabilizantes pela fadiga. Uma boa forma de prevenir problemas como esses é utilizando materiais e métodos que diminuam essa variação de calor.

Sendo assim, a argamassa composta por cimento e vermiculita possui uma alta inércia térmica, isto é, absorve o calor não permitindo variações bruscas de temperatura, nem a rápida transmissão para dentro do ambiente. (TERRHA, 2018).

A capacidade de isolamento térmico de um material é medida através da condutividade térmica, que é uma propriedade importante que permite verificar o quanto aquele material é capaz de conduzir energia termica, ou seja, calor. A tabela 2 ilustra a densidade das misturas, assim como a condutividade térmica das mesmas.

Tabela 2 – Densidade e condutividade térmica

Material	Densidade de massa (kg/m ³)	Condutividade térmica (W/mK)
Concreto normal	2200 – 2400	1,75
Argamassa comum	1800 – 2100	1,15
Tijolos cerâmicos	1300 – 1600	0,90
Argamassa celular	600 – 1000	0,40
Concreto com vermiculita (e= 3 a 6 mm)	600 – 800	0,31
Madeiras (pinho, cedro e pinus)	600 – 750	0,23
Lã de rocha	20 – 200	0,045
Poliestireno expandido	15 – 35	0,040
Aço,ferro fundido	7.800	55
Vidro Comum	2.500	1,0
Pedra - granito	2.300-2.900	3,0

Fonte: ABNT NBR 15220, 2005 apud CINTRA, 2013.

Pode-se notar na tabela acima que o concreto convencional possui densidade e condutividade térmica maior que o concreto que possui vermiculita. Por estudos, tem-se que quanto menor a densidade, menor é a condutividade térmica, logo, será menor também a capacidade de propagar o calor. Portanto, material com baixa condutividade térmica tem melhor desempenho no isolamento térmico. Comparando a argamassa com vermiculita a outras de composição mais simples, o potencial isolante da primeira mistura, tem resultados bem satisfatórios. (BRASIL MINÉRIOS, 2016).

Apesar de presente em muitas áreas, na engenharia civil, argamassa de revestimento, mais especificadamente o reboco, tem sido o principal objeto utilizado para alcançar níveis mais altos de conforto térmico com a utilização da vermiculita.

Recentemente em uma palestra nas dependências do curso de Engenharia Civil da Unievangélica, em setembro de 2018, ministrada pelo Engenheiro Wesley, engenheiro responsável por várias obras no município de Goiânia, pela empresa Pontal Engenharia, ele explicou que há algum tempo atrás eles construíram um prédio com reboco com vermiculita e que neste prédio as trocas de calor são mais baixas e por isso sua eficiência energética era maior, diminuindo o consumo de energia elétrica com ar condicionado.

3.2 VERMICULITA UTILIZADA NA ARGAMASSA

Por possuir baixa massa específica e isolamento, a utilização da vermiculita na argamassa tem crescido cada vez mais. Ela pode ser de gesso e vermiculita; cimento e vermiculita; cimento, cal e vermiculita, entre outras composições de acordo com a finalidade. Para Teles e Paula:

A adição de vermiculita na composição de argamassa de reboco se mostra de grande valia para qualidade final da obra, uma vez que agrega aspectos diferenciais, tais como, isolamento térmico e acústico, além de possibilitar uma argamassa mais leve (TELES; PAULA, 2016, p. 6).

Com o aumento do conteúdo de vermiculita, ocorre a melhora da trabalhabilidade da mistura por gerar, quando utilizada na forma de argamassa, uma mistura leve, sua utilização proporciona um grande conforto térmico e diminuição de ruídos entre pavimentos.

É importante ressaltar que, no caso da argamassa com vermiculita, 2,5cm da mesma, equivale a 25cm de concreto convencional no que diz respeito ao isolamento (NCT BRASIL, 2016).

Com a utilização do agregado leve vermiculita na argamassa, o aumento da possibilidade de obter um conforto térmico é maior. Segundo Brasil Minerios (2016) o uso da vermiculita em argamassas pode acarretar além do conforto térmico, uma redução de até 19% no consumo de energia elétrica consumida por aparelhos de climatização como ar-condicionado.

As principais características físicas da vermiculita utilizada na construção civil estão descritas na tabela 3.

Tabela 3 – Características físicas da vermiculita expandida

Características físicas	
Cor	Marrom claro
Densidade Solta	0.07 a 0.14 g/cm ³
Densidade real	2.6 g/cm ³
Temperatura máxima recomendada	1.200 ° C
Temperatura de amolecimento	1.260 ° C
Temperatura de fusão	1.315 ° C
Calor específico	0,84 kcal/kg °K
Condutividade térmica	0,062 – 0,065 W/m°K
Ph em água a 25°C	7%
Umidade máxima a 110°C	7,0 %
Não tóxica	silicato mineral inerte
Não abrasiva	dureza de 1,5 na escala de Mohs (1 à 10)
Incombustível	não pega fogo não propaga chama
Capacidade de retenção de água (CRA)	200 – 600%
Absorve líquido	quantidade de líquido superior a sua própria massa.
Capacidade de troca de cátions (CTC)	90-100 meq /100g

Fonte: BRASIL MINÉRIOS, 2012 apud CINTRA, 2013.

Com relação a sua aplicação na argamassa para obtenção de isolamento térmico e acústico favorável, podemos citar alguns traços eficientes, segundo Refratil (2018).

No caso do reboco:

- Vermiculita: cal: cimento: areia = 3:1:1:1
- Vermiculita: cal: cimento = 3:1:1 (no caso de utilização em reboco interno)

No caso do concreto leve:

- Vermiculita: cimento: água = 4:1:2
- Vermiculita: cimento: água = 6:1:2 (no caso de locais sem trânsito)

Neste trabalho a vermiculita foi utilizada apenas no reboco da parede, por esta razão discutiremos no próximo capítulo sobre revestimento argamassado.

4 REVESTIMENTO ARGAMASSADO

O registro mais antigo do uso de argamassa é de 5.600 a.C em uma laje de 25 cm de espessura, também executada com argamassa de cal e areia, no patio da Vila de LepenskeIoguslândia. Além desse, há varios registros de uso de argamassa também pelos Egípcios, Gregos, Etruscos e Romanos (SANTOS, 2015).

O uso de aditivos para melhorar o desempenho das argamassas é conhecido desde a antiguidade. Os Romanos, por exemplo, utilizavam o sangue, a banha e o leite como aditivos nas argamassas, com o intuito de tornar fácil a aplicação do material. Porém, sabe-se que estas substâncias provocam a introdução de ar na argamassa, o que pode ter contribuído para o período de duração das edificações Romanas (MIRANDA, 2009).

No Brasil, a argamassa passou a ser utilizada durante o inicio da colonização para o assentamento da alvenaria de pedra, que era o sistema construtivo utilizado na época (WESTPHAL, 2013). A cal que constituía a mistura da argamassa era obtida através da queima de elementos do extraídos do mar, como conchas e mariscos. O óleo de mamíferos, como da baleia também era utilizado como aglomerante em argamassas de assentamento (HERNANN apud ROCHA, 2013, p. 20).

4.1 DEFINIÇÃO

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 1995) a argamassa de revestimento é caracterizada como “mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante inorgânico e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. (ABNT NBR 13529, 1995, p. 3). A NBR 13281 (ABNT, 2005) cita que uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes e água é denominada argamassa, podendo conter aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser industrializada ou rodada em obra.

Para Petrucci (1976), argamassas são materiais de construção civil que se constituem por uma mistura de aglomerantes, agregados e água. Para melhoria dessa mistura podem ser acrescentados aditivos que alterem seu desempenho final.

As argamassas são necessárias e altamente utilizadas na construção civil, atualmente são muito utilizadas no levantamento de alvenaria bem como em seu exterior como emboço, reboco ou revestimento de camada única de paredes e tetos. Elas também são usadas para a

regularização de pisos e ainda no assentamento de revestimentos do tipo cerâmico (CARASEK, 2007).

4.2 PRINCIPAIS UTILIZAÇÕES E FUNÇÕES DA ARGAMASSA

De uma forma geral, as argamassas são divididas pelas principais utilizações em grupos, sendo eles: argamassas para assentamento de alvenaria, argamassas para contrapisos, argamassas para revestimentos (internos e externos) e argamassas colantes e rejuntamentos.

As argamassas utilizadas para auxiliar na obtenção de conforto térmico são as argamassas de revestimento, logo, neste trabalho é a que será abordada com maior destaque pois foi o tipo de argamassa utilizada para a análise do desempenho térmico quando acrescida o agregado leve vermiculita, nos ensaios.

No trabalho de Leandro Aracajú (2010), sobre argamassas, ele discute que a argamassa possui também a função de proteger vedações e regularizar superfícies. Em seu trabalho ele corrobora com Sabbatini, Selmo e Silva (1988), compreendendo que o revestimento possui as seguintes funções principais:

- Proteger os elementos de vedação da edificação da ação direta dos agentes agressivos.
- Auxiliar as vedações nas suas funções de isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água e gases.
- Regularizar a superfície dos elementos de vedação, servindo de base regular para outro revestimento ou constituir-se no acabamento final.
- Contribuir para a estética de vedações e fachadas.

4.3 PRINCIPAIS TIPOS DE ARGAMASSA

Sendo um tipo de mistura homogênea, a argamassa pode ser constituída de inúmeros traços, podendo ser definido visando a consistência final que se deseja alcançar. Com isso temos as principais classificações que são utilizadas hoje como argamassa de revestimento, segundo Carasek (2007):

- Chapisco: utilizado como um preparo, podendo ser aplicado com ou sem um padrão específico, tendo como objetivo regularizar a superfície quanto à absorção e proporcionar aderência ao revestimento.

- Emboço: camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, proporcionando a essa cobertura a capacidade de receber outra camada, sendo ela o reboco ou de revestimento decorativo.

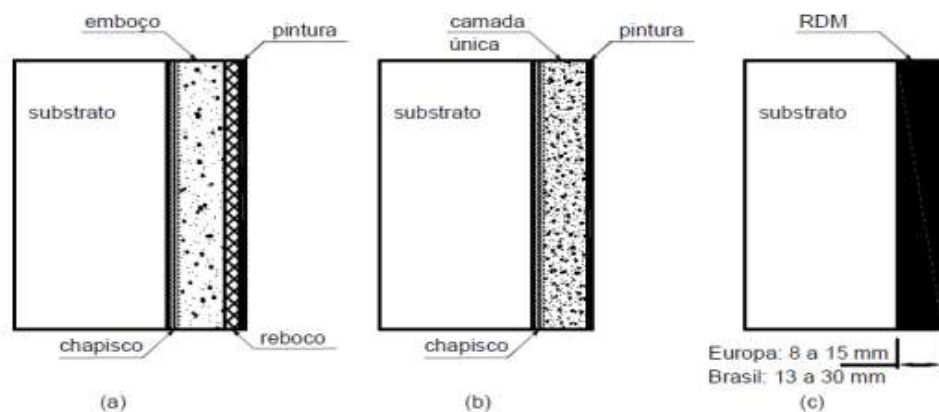
- Reboco: camada de revestimento que é aplicada posterior ao emboço, dando a superfície uma aderência que lhe permita receber o revestimento decorativo ou outro que seja de acabamento final.

- Camada única: primeira a ser aplicada sendo uma mistura única de argamassa, sobre o qual pode ser aplicado o revestimento decorativo. Também é conhecida como “massa única” ou “reboco paulista” sendo, atualmente, a alternativa mais empregada no Brasil.

- Revestimento decorativo monocamada (ou monocapa) – RDM: pode ser aplicado em uma única camada, que desempenha a função de regularizador da superfície e também como um elemento decorativo, sendo muito utilizado na Europa. A argamassa de RDM é um produto confeccionado em indústria, ainda não normalizado no Brasil, sua composição pode variar dependendo do seu fabricante, contendo geralmente: cimento branco, cal hidratada, agregados miudos e graudos, pigmentos inorgânicos, 8 fungicidas, além de vários aditivos.

A figura 7 representa os tipos de argamassa de revestimento citados.

Figura 7 – Tipos de argamassa de revestimento



Fonte: CARASEK, 2010 apud OLIVEIRA; ROCHA, 2014.

Com relação ao chapisco, emboço e reboco, eles podem ser aplicados juntos, em sua devida ordem, para melhor aderência e acabamento do revestimento.

O chapisco é a camada responsável pela ligação entre o revestimento e o substrato. Sua principal característica é a aderência mecânica. Esta camada deve ser utilizada em alvenarias de bloco cerâmico devido à porosidade que compõe o material. Caso esta seja

executada com blocos de concreto, cujo já possui uma propriedade de aderência que facilita a ligação com o revestimento, o emprego da camada de chapisco pode ser desnecessário (CARASEK, 1996).

O emboço, de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 1995) é a argamassa de regularização que deve determinar a uniformização da superfície, corrigindo as irregularidades, prumos, alinhamento dos painéis e cujo traço depende do que vier a ser executado como acabamento. É o elemento que proporciona uma capa de impermeabilização das alvenarias de tijolos ou blocos e cuja espessura não deve ser maior que 1,5 cm.

Para melhor entendimento do trabalho em questão, o estudo do reboco será aprofundado, pois o mesmo foi o revestimento de argamassa que recebeu em sua composição o agregado leve vermiculita.

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995), o reboco, conhecido também como massa fina, é a última camada de revestimento, é a argamassa básica de aglomerante e areia fina, tem a característica de pequena espessura (na ordem de 2 mm) além de preparar a superfície, com aspecto agradável, acetinado, com pouca porosidade.

Segundo Júnior (2010) o reboco é utilizado para cobrir o emboço para a obtenção de uma superfície que permita receber o elemento decorativo ou o acabamento final. O reboco tradicional é basicamente formado por cimento, cal e areia em quantidades determinadas de acordo com a finalidade.

O mesmo deve ter consistência adequada ao uso, além de características como baixa retração, trabalhabilidade, durabilidade com relação as ações atuantes, permeabilidade de acordo com a situação em questão, resistência à compressão e a tração, entre outras características de acordo com a utilização. Deve ter também um bom acabamento final, pois sobre ele poderá ser aplicado um revestimento de aplicação fina como a pintura, portanto, ele não poderá conter trincas ou fissuras. Por isso, a argamassa deverá apresentar elevada capacidade de acomodar deformações (SILVA, 2006).

Sua aplicação segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995) é a seguinte: é aplicado com uma broxa (ou trincha) e água, umedece-se a superfície revestida com emboço, em seguida coloca-se reboco na desempenadeira e aplica-se a argamassa comprimindo-a sobre a superfície, arrastando a desempenadeira de baixo para cima. Ao executar os movimentos de baixo para cima, são formadas faixas delimitadas por fios de argamassa que devem ser eliminados durante o alisamento. Este é feito com movimentos circulares, executado com uma desempenadeira, lembrando-se de manter a superfície umedecida.

Segundo Frade et al., (2010) a formulação de um reboco com boas características térmicas surge do conhecimento profundo das matérias-primas, de modo a atingir as propriedades pré-definidas.

Para Veiga e Santos (2009)

Os rebocos isolantes são constituídos por argamassas pré doseadas de ligante mineral com uma elevada percentagem de incorporação de agregados leves, por exemplo granulado de poliestireno expandido, perlite expandida, vermiculite expandida ou granulado de cortiça, destinados a reduzir a condutibilidade térmica do reboco (VEIGA; SANTOS, 2009, p. 3).

Logo, o reboco composto por vermiculita age como um ótimo isolante térmico, trazendo não só o benefício da proteção da estrutura como também um conforto térmico para o ambiente.

5 TROCAS DE CALOR EM REBOCO COM VERMICULITA

Alguns fenômenos físicos foram muito importantes para o estudo e análise realizados no trabalho, logo, o conhecimento e entendimento de alguns desses conceitos se tornam indispensáveis.

5.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A termodinâmica, se tratando do estudo das leis que regem a relação entre calor, trabalho, e outras formas de energia, é um ramo muito importante para os engenheiros, sendo eles civil, de alimentos, de automóveis, agrônomos, entre outros. Para Halliday e Resnick (2012):

Os engenheiros de automóveis se preocupam com o superaquecimento dos motores, especialmente no caso dos carros de corrida. Os engenheiros de alimentos estudam o aquecimento dos alimentos, como pizzas em fornos de microondas, e o seu resfriamento, como nos alimentos congelados. Os engenheiros agrônomos investigam a influência das condições climáticas para a agricultura (HALLIDAY; RESNIK, 2012, p. 183).

O engenheiro civil estuda a atuação da termodinâmica nos materiais, como forma de otimizar cada vez mais sua utilização dentro das necessidades dos indivíduos.

A transferência de calor refere-se a quando existe a transferência de energia ocasionada apenas pela diferença de temperatura, ou seja, é definida como a ciência que estuda as taxas dessa transferência. Enquanto calor é definido como a energia térmica transferida, ou seja, “a forma de energia que pode ser transferida de um sistema para outro em consequência da diferença de temperatura entre eles” (ÇENGEL; GHAJAR, 2012, p. 2). Para Tipler e Mosca (2013):

Quando um corpo mais quente está em contato térmico com um corpo mais frio, a energia transferida do corpo mais quente para o corpo mais frio, em razão da diferença de temperatura entre os dois corpos, é chamada calor (TIPLER; MOSCA, 2013, p. 600).

Sem dúvida, na engenharia civil, fenômenos como a transferência de calor são muito importantes, visto que, a tendência é que cada vez mais as edificações sejam planejadas para

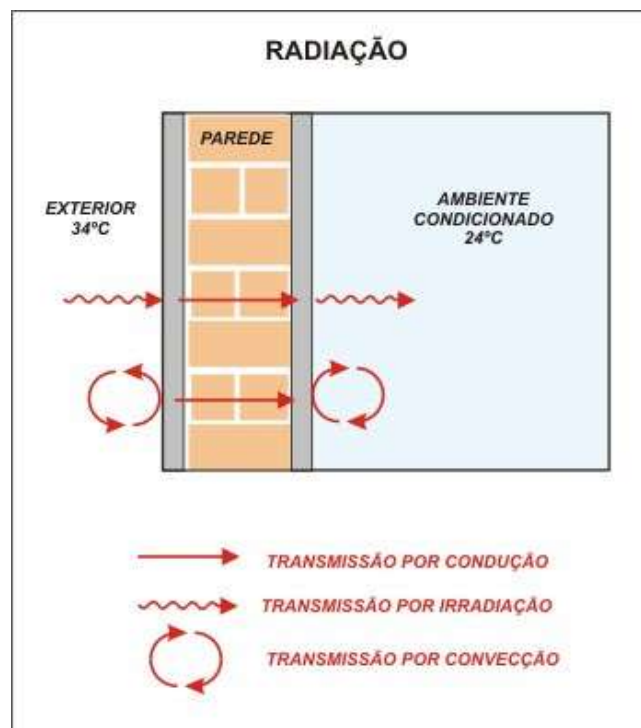
minimizar o ganho de calor no verão e a perda de calor no inverno, ou seja, obter o almejado conforto térmico.

Fazendo referência a vermiculita, tem-se que, dentro da termodinâmica ela pode ser considerada um material isolante, no caso de impedir ou fazer com que o equilíbrio térmico ocorra lentamente, ou seja, dificulta que não exista diferença de temperatura no meio.

É importante destacar que o calor pode se propagar de três maneiras: por condução, que ocorre quando um corpo está sendo aquecido e depois de um tempo todo o corpo está aquecido devido à agitação das moléculas, que passam essa vibração umas para as outras, ou por convecção, que ocorre quando há troca de massas gasosas ou líquidas com temperatura diferente, ou por radiação, que ocorre quando um corpo recebe calor a partir de ondas eletromagnéticas, que podem ter como a fonte o Sol.

Na parede utilizada neste ensaio, a transferência de calor ocorre da seguinte maneira: inicialmente ocorre a radiação, quando a parede está absorvendo calor vindo do Sol, posteriormente a condução, onde as moléculas propagam o calor de uma para a outra até que o mesmo tenha atravessado a espessura da parede. E novamente a radiação, onde será irradiado para a parte interna do ambiente o calor recebido pela parede. A figura 8 representa um exemplo de como ocorre à troca de calor em uma parede.

Figura 8 – Troca de calor em paredes



Fonte: Carvalho, 2013.

A figura acima representa além da condução e radiação, a convecção, porém, na execução do trabalho, a mesma não foi levada em consideração, visto que se trata de um tipo de transferência de calor que ocorre apenas em fluidos.

A representação desse mecanismo na imagem está relacionada ao condicionamento do ambiente, visto que, nesse caso a convecção ocorre da seguinte forma: os aparelhos de condicionamento são colocados na parte superior do ambiente, logo, o ar frio, por ser mais denso desce, enquanto o ar quente sobe para que ele seja refrigerado, formando-se correntes de convecção.

A condução é definida como uma forma em que o calor se propaga através de um condutor, ou seja, “transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para partículas vizinhas adjacentes menos energéticas, como resultado da interação entre elas” (CENGEL; GHAJAR, 2012, p. 17). Para Young e Freedman (2008):

Em nível atômico, verificamos que os átomos de uma região quente possuem em média uma energia cinética maior do que a energia cinética dos átomos de uma região vizinha. As colisões desses átomos com os átomos vizinhos fazem com que eles lhes transmitam parte da energia (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 199).

A figura 9 representa a condução.



Fonte: Motta, 2015.

É importante ressaltar que a taxa de condução de calor depende de vários aspectos como tipo de material, espessura, geometria, entre outros.

A radiação, importante para a troca de calor entre as paredes é um tipo de propagação de calor que não precisa de um meio material, pois acontece através de ondas eletromagnéticas. “Qualquer corpo, mesmo a uma temperatura normal, emite energia sob a forma de radiação eletromagnética” (YOUNG; FREEDMAN, 2018, p. 203). Segundo

Halliday e Resnick (2012), é chamada de radiação térmica as ondas eletromagnéticas que transferem calor. O fenômeno é ilustrado na figura 10.

Figura 10 – Irradiação



Fonte: Só Biologia, 2008.

A partir destes conceitos e baseados nas equações de transferência de calor, que serão discutidas no próximo capítulo, calculamos diversos parâmetros como resistência térmica, transmitância entre outros, para demonstrar que a parede com reboco de vermiculita possui um isolamento térmico maior do que a parede com reboco convencional.

6 METODOLOGIA E RESULTADOS

6.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados na cidade de Anápolis, logo, pode-se citar os seguintes valores referenciais sobre a mesma:

- Localiza-se na região Centro-Oeste, no estado de Goiás, a 54 quilômetros da capital;
- Latitude 16° 19' 36" S;
- Longitude 48° 57' 10" W;
- Clima tropical de altitude;
- Temperatura média anual entre 18°C e 23°C;
- Altitude 1.017 metros;
- Pluviosidade média anual 1441 mm.

A construção da parede foi realizada em um espaço concedido pela UniEvangélica, na qual foram construídas seis paredes, cada uma com um tipo de reboco, sendo que uma delas foi construída com reboco convencional. Para este trabalho foi utilizada apenas a parede com reboco com vermiculita e a com reboco convencional.

A medição da temperatura foi realizada por um equipamento, composto por uma placa arduíno e três sensores DS18B20 conectados a mesma, sendo um deles posicionado na parte externa da parede, ou seja, naquela que receberia a maior incidência solar, enquanto os outros, na parte interna, em locais diferentes, conforme figura 11.

Figura 11 – Sensor DS18B20 aplicado na parede



Fonte: Próprios autores, 2018.

De um modo geral, os sensores de temperatura são dispositivos e ajudam a identificar o nível de aquecimento de um equipamento ou objeto. Trata-se o sensor DS18B20, de um sensor de temperatura digital que não necessita de componentes externos, mede temperatura de -55°C até $+125^{\circ}\text{C}$. Ou seja, possui características interessantes além de seu baixo custo e sua facilidade de utilização com arduíno. A figura 12 mostra o sensor utilizado.

Figura 12 – Sensor DS18B20



Fonte: REIS, 2014.

Com relação à placa arduíno, utilizada na coleta de dados, para Souza et al., (2011)

A placa Arduíno é baseada num microcontrolador muito versátil, que potencializa suas funções para além de uma simples interface passiva de aquisição de dados, podendo operar sozinha no controle de vários dispositivos e tendo assim aplicações em instrumentação embarcada e robótica (SOUZA et al., 2011, p. 1)

Ou seja, é uma plataforma de fácil utilização, que cria possibilidades ilimitadas, sendo ideal para criação de dispositivos que utilizem como entrada sensores de temperatura, como é o caso do trabalho. A placa está ilustrada na figura 13.

Figura 13 – Placa arduino

Fonte: SOARES, 2013.

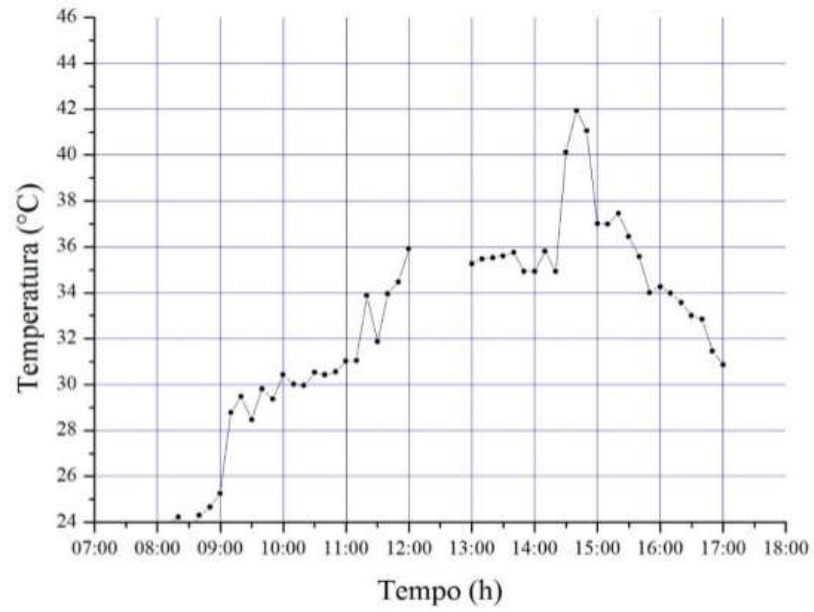
Para os ensaios foram utilizadas paredes de 1m², composta por blocos cerâmicos de dimensões: 9cm x 14cm x 24cm, argamassa de assentamento (cal, cimento e areia) e argamassas de revestimento sendo elas: chapisco, emboço e reboco contendo o agregado leve vermiculita ou reboco comum.

A coleta de dados foi realizada com duração de oito horas e com intervalo de uma hora, ou seja, de 8:00 horas às 12:00 horas e de 13:00 horas às 17:00 horas.

6.2 RESULTADOS

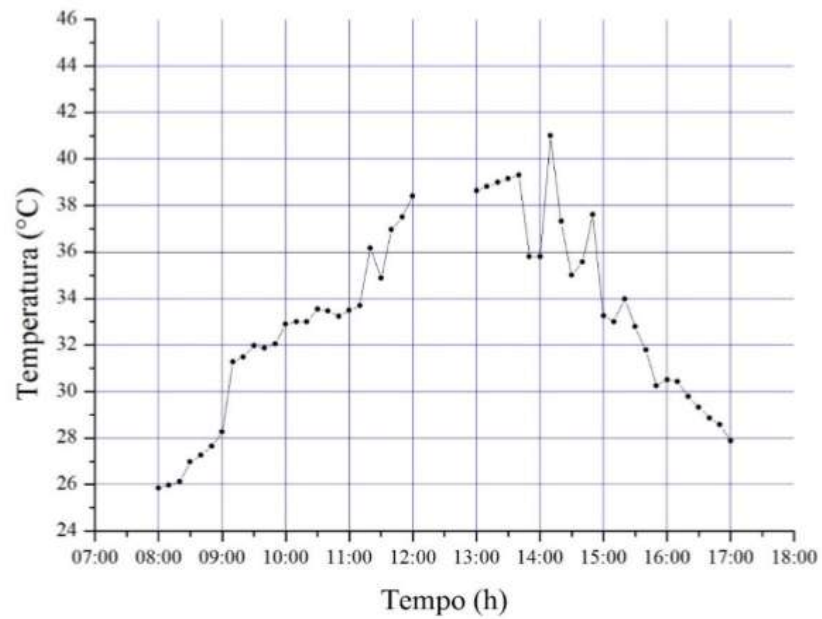
Obtidos os dados através do ensaio, os mesmos foram utilizados para a execução de três gráficos, para uma análise inicial da parede com reboco com vermiculita. As figuras 14, 15 e 16 ilustram os gráficos dos sensores 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 14 – Sensor 1



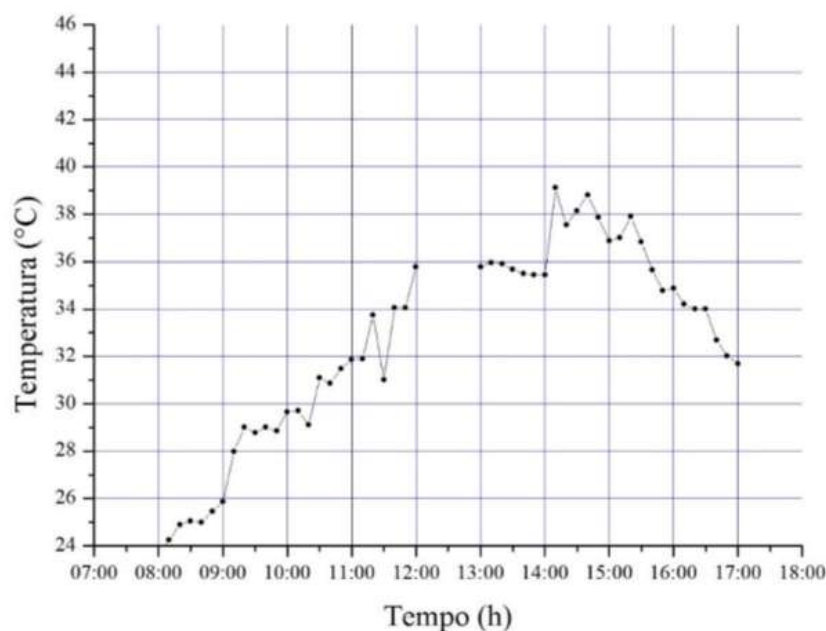
Fonte: Próprios autores, 2018

Figura 15 – Sensor 2



Fonte: Próprios autores, 2018.

Figura 16 – Sensor 3



Fonte: Próprios autores, 2018.

Nessa análise é possível perceber que a temperatura obteve o seu ápice na parede a uma temperatura de 42°C.

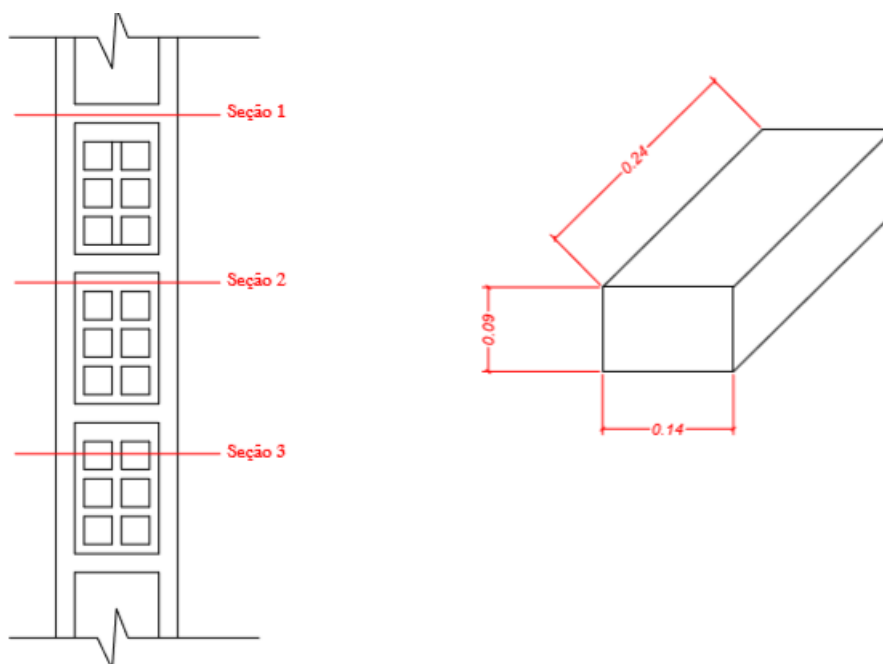
Aprofundando o estudo no ramo da engenharia civil, cálculos relacionados à resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico, fator solar e fluxo de calor, relacionados à parede com reboco com vermiculita foram feitos, levando em consideração dados normativos, ou seja, a NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações que estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas.

6.2.1 Divisão das seções

Seguindo especificações da norma, a parede foi dividida em três seções, sendo:

- Seção 1: reboco, argamassa e reboco;
- Seção 2: reboco, tijolo e reboco;
- Seção 3: reboco, tijolo, câmara de ar, tijolo, câmara de ar, tijolo, reboco.

Figura 17 – Representação das seções 1, 2 e 3



Fonte: Próprios autores, 2018.

6.2.2 Cálculo das áreas

Segue cálculo das áreas e respectivas resistências térmicas de cada uma das seções.

Áreas:

$$\text{Área}_1 : (0,02 \times 0,24) + (0,02 \times 0,16) = 0,008 \text{ m}^2$$

$$\text{Área}_2 : (0,02 \times 0,24) = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$\text{Área}_3 : (0,03 \times 0,24) = 0,0072 \text{ m}^2$$

6.2.3 Cálculo da resistência térmica

O cálculo de resistência térmica diz respeito à capacidade de resistir à passagem de calor. Para o cálculo das resistências térmicas, os valores de condutividade térmica foram retirados da tabela B.3 da NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações, em anexo neste trabalho.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

R = resistência térmica

e = espessura

λ = condutividade térmica

Dados:

λ bloco cerâmico 0,90W(m.K)

λ argamassa 1,15W(m.K)

λ reboco com o agregado leve vermiculita 0,30W(m.K)

Resistência térmica da seção 1

$$R1 = (e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}}) + (e_{\text{argamassa}} / \lambda_{\text{argamassa}}) + (e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}})$$

$$R1 = (0,02/0,30) + (0,09/1,15) + (0,02/0,30)$$

$$R1 = 0,2116 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Resistência térmica da seção 2

$$R2 = (e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}}) + (e_{\text{bloco cerâmico}} / \lambda_{\text{bloco cerâmico}}) + (e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}})$$

$$R2 = (0,02/0,30) + (0,09/0,90) + (0,02/0,30)$$

$$R2 = 0,2333 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Resistência térmica da seção 3

$$R3 = (e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}}) + (e_{\text{bloco cerâmico}} / \lambda_{\text{bloco cerâmico}}) + R_{\text{ar}} + (e_{\text{bloco cerâmico}} / \lambda_{\text{bloco cerâmico}}) + R_{\text{ar}} + (e_{\text{bloco cerâmico}} / \lambda_{\text{bloco cerâmico}}) + (e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}})$$

$$R3 = (0,02/0,30) + (0,01/0,90) + 0,16 + (0,01/0,90) + 0,16 + (0,01/0,90) + (0,02/0,30)$$

$$R3 = 0,4866 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Somatório das resistências térmicas das seções

$$R_t = (A_1 + 4 \times A_2 + 3 \times A_3) / ((A_1/R_1) + ((4 \times A_2)/R_2) + ((3 \times A_3)/R_3))$$

$$R_t = (0,008 + 4 \times 0,0048 + 3 \times 0,0072) / ((0,008/0,2116) + ((4 \times 0,0048)/0,2333) + ((3 \times 0,0072)/0,4866))$$

$$R_t = 0,2966 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Para o cálculo da resistência térmica da seção 3, o valor de R_{ar} , resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, ou seja, os furos dos blocos cerâmicos, foi extraído da tabela B.1, também da norma citada anteriormente, a mesma encontra-se em anexo neste trabalho.

Vale ressaltar que foi considerado um fluxo na direção horizontal, emissividade maior que 0,8 e espessura de câmara de ar 3,0cm.

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (2)$$

Onde:

RT = Resistência térmica total

R_{si} = Resistência superficial interna

R_t = Resistência térmica das seções

R_{se} = Resistência superficial externa

Resistência térmica total

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,2966 + 0,04$$

$$RT = 0,4666 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Os valores referentes a R_{si} , resistência superficial interna e R_{se} , resistência superficial externa foram coletados na NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações, na tabela A.1, que encontra-se em anexo.

6.2.4 Cálculo da transmitância térmica

O cálculo de transmitância térmica diz respeito ao calor transmitido por unidade de área ou por diferença de temperatura.

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (3)$$

Onde:

U = Transmitância térmica

R_t = Resistência térmica das seções

$$U = 1/Rt$$

$$U = 1/0,4666$$

$$U = 2,14 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

6.2.5 Cálculo da capacidade térmica

O cálculo da capacidade térmica refere-se à quantidade de calor necessária para o corpo em questão alterar sua temperatura.

$$CT = \sum_{i=1}^n e \times c \times \rho \quad (4)$$

Onde:

CT = Capacidade térmica

e = Espessura

c = Calor específico

ρ = Densidade de massa aparente

Dados referentes à seção 1

ρ reboco 800 kg/m³

ρ argamassa 2000 kg/m³

c reboco 1,00 KJ/(kg.K)

c argamassa 1,00 KJ/(kg.K)

Capacidade térmica da seção 1

$$CT_1 = (e.c.\rho)_{\text{reboco}} + (e.c.\rho)_{\text{argamassa}} + (e.c.\rho)_{\text{reboco}}$$

$$CT_1 = (0,02 \times 1,00 \times 800) + (0,14 \times 1,00 \times 2000) + (0,02 \times 1,00 \times 800)$$

$$CT_1 = 312 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Dados referentes à seção 2

ρ reboco 800 kg/m³

ρ bloco cerâmico 1600 kg/m³

c reboco 1,00 KJ/(kg.K)

c bloco cerâmico 0,92 KJ/(kg.K)

Capacidade térmica da seção 2

$$CT_2 = (e.c.\rho)_{\text{reboco}} + (e.c.\rho)_{\text{bloco cerâmico}} + (e.c.\rho)_{\text{reboco}}$$

$$CT_2 = (0,02 \times 1,00 \times 800) + (0,14 \times 0,92 \times 1600) + (0,02 \times 1,00 \times 800)$$

$$CT_2 = 238,08 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Dados referentes à seção 3

$$\rho_{\text{reboco}} 800 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{\text{bloco cerâmico}} 1600 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$c_{\text{reboco}} 1,00 \text{ KJ}/(\text{kg}.\text{K})$$

$$c_{\text{bloco cerâmico}} 0,92 \text{ KJ}/(\text{kg}.\text{K})$$

Capacidade térmica da seção 3

$$CT_3 = (e.c.\rho)_{\text{reboco}} + (e.c.\rho)_{\text{bloco cerâmico}} + (e.c.\rho)_{\text{ar}} + (e.c.\rho)_{\text{bloco cerâmico}} + (e.c.\rho)_{\text{ar}} + (e.c.\rho)_{\text{bloco cerâmico}} + (e.c.\rho)_{\text{reboco}}$$

$$CT_3 = (0,02 \times 1,00 \times 800) + (0,025 \times 0,92 \times 1600) + (0) + (0,025 \times 0,92 \times 1600) + (0) + (0,025 \times 0,92 \times 1600) + (0,02 \times 1,00 \times 800)$$

$$CT_3 = 142,40 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Capacidade térmica total

$$CT = (A_1 + 4 \times A_2 + 3 \times A_3) / ((A_1/CT_1) + ((4 \times A_2)/CT_2) + ((3 \times A_3)/CT_3))$$

$$CT = (0,008 + 4 \times 0,0048 + 3 \times 0,0072) / ((0,008/312) + ((4 \times 0,0048)/238,08) + ((3 \times 0,0072)/142,40))$$

$$CT = 189,17 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

6.2.6 Cálculo do atraso térmico

O cálculo do atraso térmico está relacionado ao tempo entre a variação térmica do meio e a sua manifestação na superfície em questão.

$$\Phi = 1,382 \times Rt \times \sqrt{(B1 + B2)} \quad (5)$$

Onde:

Φ = Atraso térmico

R_t = Resistência térmica das seções

$$B_o = CT - CT_{ext} = 189,17 - (0,02 \times 1,00 \times 800) = 173,17$$

$$B_1 = 0,226 \times (B_o/R_t) = 0,226 \times (173,17/0,2966) = 131,95$$

$$B_2 = 0,205 \times (((\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}/R_t) \times (R_{ext} - ((R_t - R_{ext})/10))) = 0,205 \times ((0,30 \times 800 \times 1,00)/0,2966) \times ((0,02/0,30) - ((0,2966 - (0,02/0,30))/10)) = 7,24$$

Atraso térmico:

$$\Phi = 1,382 \times R_t \times \sqrt{(B_1 + B_2)}$$

$$\Phi = 1,382 \times 0,2966 \times \sqrt{(131,95 + 7,24)}$$

$$\Phi = 4,83 \text{ horas}$$

6.2.7 Cálculo do fator solar

O cálculo de fator solar diz respeito à taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa de radiação solar total incidente sobre a superfície externa dele.

$$FS = 100 \times U \times \alpha \times R_{se} \quad (6)$$

Onde:

FS = Fator solar

U = Transmitância térmica

α = Absortância a radiação

R_{se} = Resistência superficial externa

$$FS = 100 \times U \times \alpha \times R_{se}$$

$$FS = 100 \times 2,14 \times 0,50 \times 0,04$$

$$FS = 4,28\%$$

O valor de α foi retirado da tabela B.2 da norma citada, referente às características reboco claro e utilizando o maior valor existente. A tabela encontra-se em anexo (ANEXO C).

6.2.8 Cálculo do fluxo de calor

O cálculo do fluxo de calor refere-se a quantidade de calor que atravessa a superfície durante um intervalo de tempo.

$$q = \Delta t / RT \quad (7)$$

Onde:

q = Fluxo de calor

Δt = Variação da temperatura

RT = Resistência térmica total

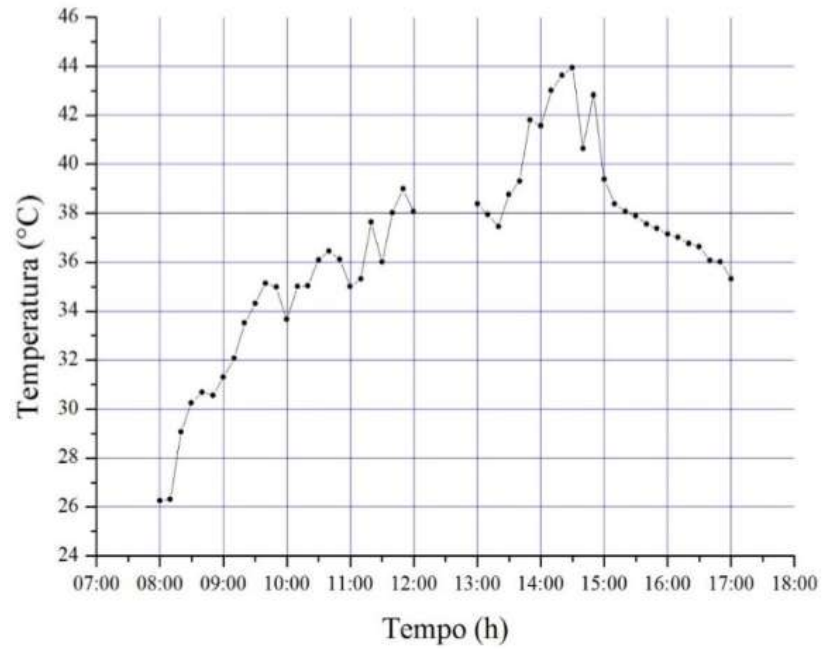
$$q = \Delta t / RT$$

$$q = ((41,00 - 35,81) + 300K) / 0,4666$$

$$q = 654,07 \text{ W/m}^2$$

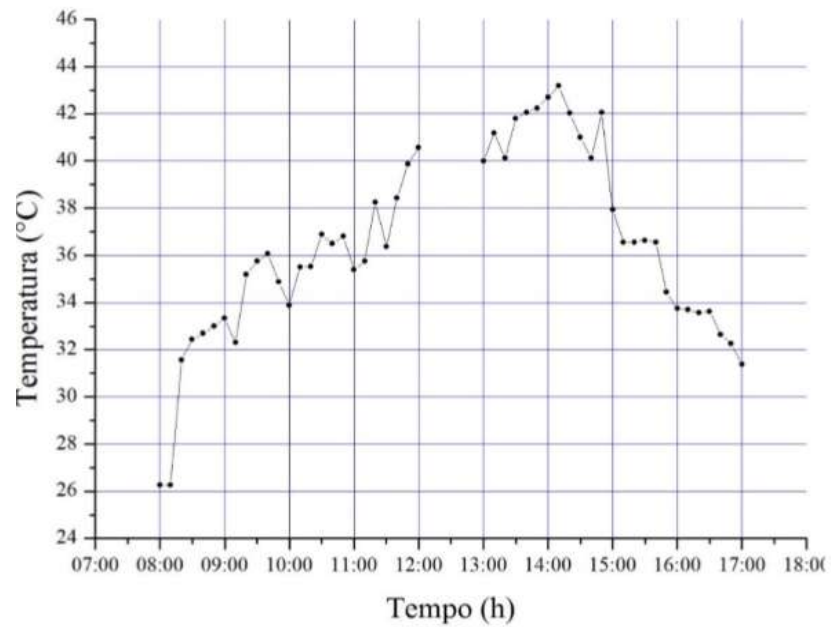
Após realizados os cálculos relacionados a parede contendo o agregado leve vermiculita, os mesmos gráficos e cálculos foram realizados para a parede contendo reboco convencional, para uma comparação entre as duas. As figuras 18, 19 e 20 demonstram os gráficos em cada sensor.

Figura 18 – Sensor 1



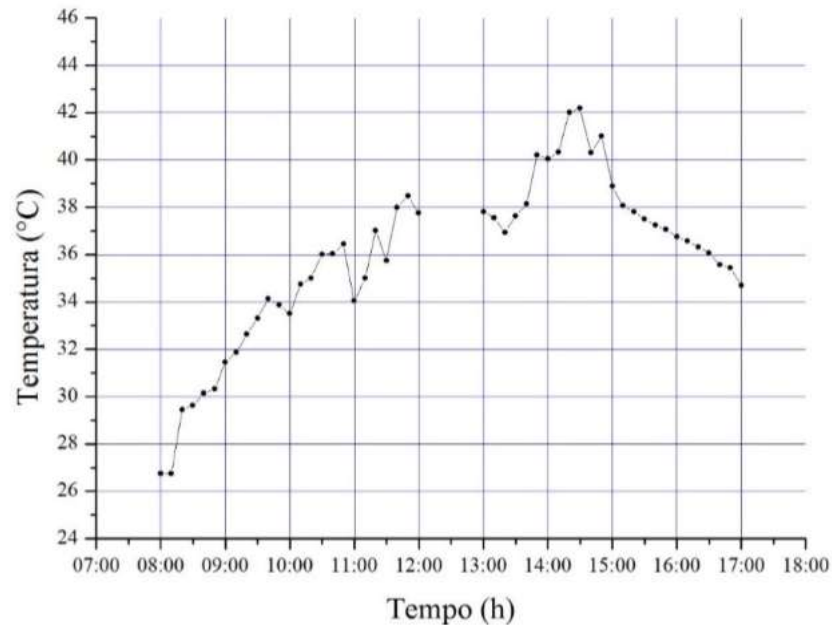
Fonte: Próprios autores, 2018.

Figura 19 – Sensor 2



Fonte: Próprios autores, 2018.

Figura 20 – Sensor 3



Fonte: Próprios autores, 2018.

6.2.9 Cálculo da resistência térmica

Dados:

λ bloco cerâmico 0,90W(m.K)

λ argamassa 1,15W(m.K)

λ reboco cnvencional 0,70W(m.K)

Resistência térmica da seção 1

$$R1 = (e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}}) + (e_{\text{argamassa}} / \lambda_{\text{argamassa}}) + (e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}})$$

$$R1 = (0,02/0,70) + (0,09/1,15) + (0,02/0,70)$$

$$R1 = 0,1354 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Resistência térmica da seção 2

$$R2 = (e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}}) + (e_{\text{bloco cerâmico}} / \lambda_{\text{bloco cerâmico}}) + (e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}})$$

$$R2 = (0,02/0,70) + (0,09/0,90) + (0,02/0,70)$$

$$R2 = 0,1571 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Resistência térmica da seção 3

$$R_3 = (e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}}) + (e_{\text{bloco cerâmico}} / \lambda_{\text{bloco cerâmico}}) + R_{\text{ar}} + (e_{\text{bloco cerâmico}} / \lambda_{\text{bloco cerâmico}}) + R_{\text{ar}} + (e_{\text{bloco cerâmico}} / \lambda_{\text{bloco cerâmico}}) + (e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}})$$

$$R_3 = (0,02/0,70) + (0,01/0,90) + 0,16 + (0,01/0,90) + 0,16 + (0,01/0,90) + (0,02/0,70)$$

$$R_3 = 0,4105 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Somatório das resistências térmicas das seções

$$R_t = (A_1 + 4 \times A_2 + 3 \times A_3) / ((A_1/R_1) + ((4 \times A_2)/R_2) + ((3 \times A_3)/R_3))$$

$$R_t = (0,008 + 4 \times 0,0048 + 3 \times 0,0072) / ((0,008/0,1354) + ((4 \times 0,0048)/0,1571) + ((3 \times 0,0072)/0,4105))$$

$$R_t = 0,2086 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Resistência térmica total

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}}$$

$$R_T = 0,13 + 0,2086 + 0,04$$

$$R_T = 0,3786 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

6.2.10 Cálculo da transmitância térmica

$$U = 1/R_t$$

$$U = 1/0,3786$$

$$U = 2,64 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

6.2.11 Cálculo da capacidade térmica

Dados referentes à seção 1

$$\rho_{\text{reboco}} 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{argamassa}} 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{\text{reboco}} 1,00 \text{ KJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$c_{\text{argamassa}} 1,00 \text{ KJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

Capacidade térmica da seção 1

$$CT_1 = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}}$$

$$CT_1 = (0,02 \times 1,00 \times 2000) + (0,14 \times 1,00 \times 2000) + (0,02 \times 1,00 \times 2000)$$

$$CT_1 = 360 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Dados referentes à seção 2

$$\rho \text{ reboco } 2000 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\rho \text{ bloco cerâmico } 1600 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$c \text{ reboco } 1,00 \text{ KJ}/(\text{kg}.\text{K})$$

$$c \text{ bloco cerâmico } 0,92 \text{ KJ}/(\text{kg}.\text{K})$$

Capacidade térmica da seção 2

$$CT_2 = (e.c.\rho)_{\text{reboco}} + (e.c.\rho)_{\text{bloco cerâmico}} + (e.c.\rho)_{\text{reboco}}$$

$$CT_2 = (0,02 \times 1,00 \times 2000) + (0,14 \times 0,92 \times 1600) + (0,02 \times 1,00 \times 2000)$$

$$CT_2 = 286,08 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Dados referentes à seção 3

$$\rho \text{ reboco } 2000 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\rho \text{ bloco cerâmico } 1600 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$c \text{ reboco } 1,00 \text{ KJ}/(\text{kg}.\text{K})$$

$$c \text{ bloco cerâmico } 0,92 \text{ KJ}/(\text{kg}.\text{K})$$

Capacidade térmica da seção 3

$$CT_3 = (e.c.\rho)_{\text{reboco}} + (e.c.\rho)_{\text{bloco cerâmico}} + (e.c.\rho)_{\text{ar}} + (e.c.\rho)_{\text{bloco cerâmico}} + (e.c.\rho)_{\text{ar}} + (e.c.\rho)_{\text{bloco cerâmico}} + (e.c.\rho)_{\text{reboco}}$$

$$CT_3 = (0,02 \times 1,00 \times 2000) + (0,025 \times 0,92 \times 1600) + (0) + (0,025 \times 0,92 \times 1600) + (0) + (0,025 \times 0,92 \times 1600) + (0,02 \times 1,00 \times 2000)$$

$$CT_3 = 190,40 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Capacidade térmica total

$$CT = (A_1 + 4 \times A_2 + 3 \times A_3) / ((A_1/CT_1) + ((4 \times A_2)/CT_2) + ((3 \times A_3)/CT_3))$$

$$CT = (0,008 + 4 \times 0,0048 + 3 \times 0,0072) / ((0,008/360) + ((4 \times 0,0048)/286,08) + ((3 \times 0,0072)/190,40))$$

$$CT = 241,23 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

6.2.12 Cálculo do atraso térmico

$$B_o = CT - CT_{\text{ext}} = 241,23 - (0,02 \times 1,00 \times 2000) = 201,23$$

$$B_1 = 0,226 \times (B_o/Rt) = 0,226 \times (201,23/0,2086) = 218,01$$

$$B_2 = 0,205 \times (((\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}})/Rt) \times (R_{\text{ext}} - ((Rt - R_{\text{ext}})/10)) = 0,205 \times ((0,70 \times 2000 \times 1,00)/0,2086) \times ((0,02/0,70) - ((0,2086 - (0,02/0,70))/10)) = 14,54$$

Atraso térmico:

$$\Phi = 1,382 \times Rt \times \sqrt{(B_1 + B_2)}$$

$$\Phi = 1,382 \times 0,2086 \times \sqrt{(218,01 + 14,54)}$$

$$\Phi = 4,40 \text{ horas}$$

6.2.13 Cálculo do fator solar

$$FS = 100 \times U \times \alpha \times R_{se}$$

$$FS = 100 \times 2,64 \times 0,50 \times 0,04$$

$$FS = 5,28\%$$

6.2.14 Cálculo do fluxo de calor

$$q = \Delta t/RT$$

$$q = ((43,19 - 40,30) + 300K)/0,3786$$

$$q = 800,03 \text{ W/m}^2$$

A partir dos dados coletados e cálculos realizados é possível mostrar comparativamente o comportamento térmico das paredes conforme demonstrado no quadro 3.

Quadro 3 – Comparativo entre as paredes

Comparativo entre as paredes		
Parâmetros	Reboco convencional	Reboco com vermiculita
Ápice da temperatura	44°C	42°C

Resistência térmica	0,3786 (m ² .K)/W	0,4666 (m ² .K)/W
Transmitância térmica	2,64 W/(m ² .K)	2,14 W/(m ² .K)
Capacidade térmica	241,23 KJ/(m ² .K)	189,17 KJ/(m ² .K)
Atraso térmico	4,40 horas	4,83 horas
Fator solar	5,28%	4,28%
Fluxo de calor	800,03 W/m ²	654,07 W/m ²

Fonte: Próprios autores, 2018.

Como pode-se observar, a parede construída com reboco com vermiculita obteve desempenho térmico melhor que a parede com reboco convencional, comprovando que a vermiculita é um bom isolante térmico para ser aplicado à área de engenharia civil, promovendo maior conforto térmico, como também está previsto na norma NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste trabalho foi possível concluir que o uso da vermiculita na construção civil, mais especificamente em argamassas mistas para obter um material com baixa condutividade térmica, é viável, porque sua baixa condutividade térmica gera uma camada isolante que dificulta a troca de calor entre as faces da parede.

Outro aspecto importante a ser destacado neste trabalho é que este tipo de ensaio pode contribuir para a proteção ambiental e a sustentabilidade, levando em consideração o aspecto construtivo, porque promove o estudo e a aplicação de novos materiais que podem contribuir para a diminuição do consumo energético, com ar condicionado, por exemplo.

A utilização de vermiculita na argamassa, como elemento constituinte do reboco, melhora o desempenho térmico das edificações, visto que a resistência térmica encontrada no trabalho para a parede contendo esse agregado foi $0,4666 \text{ (M}^2\text{.K)/W}$, ou seja, maior, quando comparado com o reboco convencional que obteve $0,3786 \text{ (M}^2\text{.K)/W}$, o que traz uma contribuição para a eficiência energética, visto que, quanto maior a resistência térmica, menor é a troca de calor, ou seja, melhor é a isolação térmica.

Logo, a incorporação de vermiculita às argamassas provou afetar as propriedades térmicas e mecânicas das mesmas. Foi demonstrado que o efeito isolante esperado com a adição de vermiculita no reboco tornou uma boa alternativa para aplicações onde se busca conforto térmico em edificações.

Por outro lado não se pode afirmar se surgirão no futuro patologias em maior grau ou menor tempo do que as paredes feitas com reboco convencional.

Mas este ainda é um estudo inicial e precisa de maior aprofundamento no tocante ao conforto acústico e à resistência ao surgimento de patologias.

5Neste sentido, este trabalho pode servir para outros estudantes, professores ou profissionais de engenharia enquanto referência de ensaio inicial, visto que, podem ser realizados outros, com a mesma perspectiva, com técnicas e idéias que possam aprimorar o estudo, como por exemplo, variações de traço, materiais, fontes de energia, disposição das paredes, cobertura nas paredes, entre outras que possam auxiliar na obtenção de resultados importantes para o melhoramento da utilização dos materiais existentes na engenharia civil.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Amanda Lorena Dantas de. **Estudo das propriedades tecnológicas da argamassa de revestimento com incorporação da vermiculita expandida**. 2017. 21f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. Standard Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. **ASHRAE 55-2013**. Atlanta. 1971.

ARAÚJO, Priscila Paci. **Caracterização magnética de nanocomposito a base de vermiculita**. 2009. 108f. Dissertação (Pós-Graduação) - Curso de Física, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro. 2005.

BAUER, Falcão. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Ltc, 2000.

BAUER, Elton; RAMOS, Daiane V. M.; SANTOS, Carla C. N.; PAES, Isaura L.; SOUSA, José. G. G. de ; ALVES, Nielsen J. D.; GONCALVES, Sérgio R.; LARA, Patrícia L. O. **Revestimentos de argamassa - características e peculiaridades**. 1. ed. BRASÍLIA: LEMUnB - SINDUSCON/DF, 2005. v.1. 92f.

BRASIL MINÉRIOS. **Vermiculita.** Disponível em: <<http://brasilminerios.com.br/2016/06/28/brexit-could-lead-to-significant-construction-job-losses/>> Acesso em: 01 Out. 2018.

BORGES, Leandro Araújo. **Revestimento em argamassa: solução econômica para uma obra mais sustentável**". 2012. Monografia – Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2012.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.**2013. 285f. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 1996.

CARASEK, H. **Materiais de construção civil e Princípios de ciência e engenharia de materiais.** Ed. G. C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2007. Volume 2. 1712f.

CARVALHO, Isabela. **Física térmica.** Disponível em: <<http://fiisicatermica.blogspot.com/2013/06/radiacao.html>> Acesso em: 26 Out. 2018.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de calor e massa.** São Paulo: AMGH, 2012.

CINTRA, Cynthia Leonis Dias. **Argamassa para revestimento com propriedades termoacústicas, produzida a partir de vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus.** 2013. 154f. Dissertação (Pós-Graduação) - Curso Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

FRADE, Dina Felipe et al.,. **Argamassa de reboco com características térmicas.** 2010. 11f. Artigo Científico Portugal, 2010.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira e. **“Climas do Brasil”.** Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/brasil/os-climas-brasil.htm>>. Acesso em 11 de julho de 2018.

FRANÇA, Sílvia C. A. et al., **Vermiculita, mais que um mineral termo acústico**. 2016. 11f. Artigo Científico (IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste) – Centro de Tecnologia Mineral, João Pessoa, 2016.

GOMES, Cesar Henrique de Godoy. **Análise dos níveis de conforto térmico em um edifício de escritórios na cidade de Maringá**. 2003. 129f. Dissertação (Pós-Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

HALLIDAY, David; RESNIK, Robert. **Fundamentos da física**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

ROCHA, João de Almeida. **Pesquisa de viabilidade da utilização da argamassa estabilizada modificada para revestimento sem a necessidade de aplicação do chapisco**. 2013. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

JÚNIOR, Solano Alves Pereira. **Procedimento executivo de revestimento externo em argamassa**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2010.

LIMA, Thiers Muniz. **Mica - Muscovita**. 2014. 2f. Relatório Técnico – Departamento Nacional de Produção Mineral, 2014.

LOBATO, Emílio. **Perfil da mica**. 2009. 30f. Relatório Técnico – Ministério de Minas e Energia, 2009.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antônio Freitas. **Rochas e minerais industriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

MACEDO, Maia. **Vermiculita Expandida Construção Civil**. 2008. Disponível em: <<https://www.maiamacedo.com.br/produtos1/minerios/vermiculita-expandida-construcao-civil/>>. Acesso em: 10out. 2018.

MIRANDA, Lina Maria Carvalho da Costa. **Estudo comparativo entre argamassa de revestimento à base de cimento com adição da cal hidráulica e da cal hidratada.** Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, 2009.

MOTTA, Bianca Corrêa. **Condução térmica.** Disponível em: <<http://theextraordinaryworldofphysics.blogspot.com/2015/05/conducao-termica-conducao-termica.html>> Acesso em: 24 Out. 2018.

NTC BRASIL. **Vermiculita Expandida.** Disponível em: <<https://www.ntcbrasil.com.br/vermiculita-expandida/>> Acesso em: 01 Out. 2018.

OLIVEIRA, Gabriel José Araujo de; ROCHA, Guilherme Araújo. **Influência do método de aplicação sobre o desempenho de aderência de revestimentos de argamassa.** 2014. 82f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

PERALTA, Marvin Marco Chambi. **Tratamento químico de uma vermiculita visando seu uso em compostos de polipropileno.** 2009. 77f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção.** Porto Alegre, Globo; Rio de Janeiro: Fundação Nacional de Material Escolar. 1976. Cap. 7, p. 351-363.

REFRÁTIL. **Vermiculita Expandida.** Disponível em: <<http://www.refratil.com.br/produto/vermiculita-expandida>> Acesso em: 25 Out. 2018.

REIS, Valdinei Rodrigues dos. **Como medir temperatura com um DS18B20.** Disponível em: <<http://www.arduino.br.com/arduino/arduino-sensor/como-medir-temperatura-com-um-ds18b20/>> Acesso em: 22 Out. 2018.

SANTOS, Heraldo B. dos. **Ensaio de Aderência das Argamassas de Revestimento**. 2008. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SANTOS; Robson. **Transcrição de Histórico das Argamassas**. Disponível em <<https://prezi.com/-db8jekusfvi/historico-das-argamassas/>> Acesso em 24/10/2018

SILVA, Heloísa Helena Azevedo Barbosa. **Caracterização mineralógica e filiação da vermiculita da mina cerrado II – Sancrerlândia - GO**. 2006. 169f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, Isabela Caroline Ribeiro da. **Caracterização e utilização das vermiculita expandida como barreira térmica**. 2016. 74f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

SILVA, Júlio Cesar da. **A influência da adição de fibras de polipropileno e vermiculita expandida em argamassas com nanotitânia**. 2015. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

SILVA, Narciso G. da. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. 2006. 180f. Dissertação (Mestrado Construção Civil) - Programa de PósGraduação em Construção Civil – PPGCC/UFPR, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2006.

SILVA, Rogério Almiro Oliveira et al.,. **Prospecção tecnológica do uso de argila vermiculita como adsorvente de contaminantes oleosos em processo de produção do biodiesel**. 2015. 9f. Artigo Científico – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

SMITH, William; HASHEMI, Javad. **Fundamentos da engenharia e Ciência dos Materiais**. São Paulo: Amgh, 2012.

SÓ BIOLOGIA. **Irradiação térmica.** Disponível em: <https://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/Calor7.php> Acesso em: 24 Out. 2018.

SOARES, Karla. **O que é um aduino e o que pode ser feito com ele?** Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2013/10/o-que-e-um-arduino-e-o-que-pode-ser-feito-com-ele.html>> Acesso em: 22 Out. 2018.

SOUZA, Anderson R. de et al.,. **Placa arduíno: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC.** 2011. 6f. Artigo Científico – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SZNELWAR, José Jaime; SCALABRIN, Remo. **Perfil da vermiculita.** 2009. 35f. Relatório Técnico – Ministério de Minas e Energia, 2009.

TELES, Argeu Vinícius Peixoto; PAULA, Daniel Rhodes de. **Avaliação das características de argamassas de reboco dosadas com vermiculita.** 2016. 35f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2016.

TERRHA. **O uso da vermiculita na construção civil.** Disponível em: <https://d26lpennugtm8s.cloudfront.net/stores/549/384/rte/TERRHA_Ficha_Tecnica_Vermiculita.pdf> Acesso em: 01 Out. 2018.

TIPLER, Paula A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros.** Rio de Janeiro: LCT, 2013.

VEIGA, Maria do Rosário; SANTOS, Carlos Pina dos. **Revestimentos de isolamento térmico de fachada: eficiência, durabilidade e comprovação de qualidade.** 2009. 11f. Artigo Científico, 2009.

WESTPHAL, Eduardo; WESTPHAL, Humberto; MADALOSSO, Cláudia; CARVALHO, Fernanda; ADAMS, Kátia. **Argamassas**. 2013. Curso Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física II: Termodinâmica e ondas**. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

ANEXO A

Tabela A.1 – NBR 15220-2 (2003)

R_{si} ($m^2.K/W$)			R_{se} ($m^2.K/W$)		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	— ↓	⇒	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

ANEXO B

Tabela B.1 – NBR 15220-2 (2003)

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇔	⇑	⇓
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16 EX.2	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21 EX.5
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:
 1 ε é a emissividade hemisférica total.
 2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
 3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.
 4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

ANEXO C

Tabela B.2 – NBR 15220-2 (2003)

Tipo de superfície		α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25	0,25
Caiçãõ nova		0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro		0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro		0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido		0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado		0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	"Alumínio"	0,40	0,50
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

ANEXO D

Tabela B.3 – NBR 15220-2 (2003)

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))	
Argamassas				
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00	EX.1
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84	
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00	
Cerâmica				
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92	EX.1
	1300-1600	0,90	0,92	
	1600-1800	1,00	0,92	
	1800-2000	1,05	0,92	
Fibro-cimento				
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84	EX.5
	1400-1800	0,65	0,84	
Concreto (com agregados de pedra)				
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00	EX.2
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00	
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes ~750 kg/m³)				
com finos	1400-1600	0,52	1,00	
	1200-1400	0,44	1,00	
sem finos	1000-1200	0,35	1,00	
Concreto com argila expandida				
dosagem de cimento > 300 kg/m ³ , ρ dos inertes > 350 kg/m ³	1600-1800	1,05	1,00	
	1400-1600	0,85	1,00	
	1200-1400	0,70	1,00	
	1000-1200	0,46	1,00	
dosagem de cimento < 250 kg/m ³ , ρ dos inertes < 350 kg/m ³	800-1000	0,33	1,00	
	600-800	0,25	1,00	
	< 600	0,20	1,00	
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00	
	400-600	0,24	1,00	
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00	
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00	
	500-600	0,20	1,00	
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00	
Gesso				
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84	
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84	
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)				
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84	
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84	
Granulados				
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80	
argila expandida	< 400	0,16		
areia seca	1500	0,30	2,09	
areia (10% de umidade)	1500	0,93		
areia (20% de umidade)	1500	1,33		
areia saturada	2500	1,88		
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84	

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
Metais			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
Pedras (incluindo junta de assentamento)			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcáreos/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
Plásticos			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrilicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
Vidro			
vidro comum	2500	1,00	0,84

EX.5