



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUYSE REBECA DO NASCIMENTO DINIZ

**ARGAMASSA TÉRMICA CONTENDO VERMICULITA: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE SUAS PROPRIEDADES FRESCAS
E ENDURECIDAS**

**CAMPINA GRANDE – PB
DEZEMBRO DE 2020**

LUYSE REBECA DO NASCIMENTO DINIZ

**ARGAMASSA TÉRMICA CONTENDO VERMICULITA: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE SUAS PROPRIEDADES FRESCAS
E ENDURECIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, visando aprovação na referida componente curricular e conclusão da graduação em Engenharia Civil.

**Orientadora: Prof. Dra. Aline
Figueirêdo Nóbrega de Azerêdo –
UFCG**

CAMPINA GRANDE – PB

DEZEMBRO DE 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, por ter me concedido forças e capacidade de enfrentar as dificuldades da vida com maestria.

A minha mãe, irmã e tias que por amor abdicaram de muitas coisas ao longo desses anos para incentivarem e investirem em minha educação.

Aos meus amigos de graduação, Thercyo, Igor e Renan pelo companheirismo nas noites em claro de estudo, colaborações e apoio emocional ao longo desses anos.

A minha orientadora, Dra. Aline Figueirêdo Nóbrega de Azerêdo, pela paciência, disponibilidade, incentivo e colaboração que tornou possível a realização desse trabalho.

A Prof^a. Dra. Dayse Luna Barbosa que muito me ajudou ao longo de toda a graduação.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a concretização desse momento.

RESUMO

A eficiência energética que as edificações devem desempenhar é um tema debatido no cenário atual da construção civil. Em 2013 a ABNT NBR 15575:2013 foi criada com o objetivo de tratar sobre as demandas de desempenho das edificações residenciais. Para satisfazer os critérios estabelecidos de conforto térmico novos materiais têm sido testados para serem aplicados. Existem diversas pesquisas para testar o emprego de agregados leves em argamassas para se obter condições satisfatório de desempenho térmico nas envoltórias de edificações. Um desses materiais é a vermiculita expandida que devido as suas características estruturais oferece baixa condutividade térmica incorporada a argamassa. O presente trabalho tem como intuito analisar estudos anteriores em relação ao uso da vermiculita nas argamassas para se obter propriedades térmicas. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura reunindo análises e comparações entre estudos que abordaram esse tema. Os resultados permitem concluir que é vantajoso o uso da vermiculita expandida em relação a propriedade de trabalhabilidade, o uso de vermiculita para se obter uma argamassa leve também se mostrou uma alternativa viável. Apesar do efeito negativo na resistência à compressão, todos os artigos apresentarão como vantajoso o uso da vermiculita expandida para aumento do isolamento térmico.

Palavras-chave: *Argamassa térmica. Vermiculita. Isolamento térmico.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vermiculita.	12
Figura 2 - Porcentagem da produção de vermiculita em relação à produção mundial total no ano de 2015.	13
Figura 3 - Estrutura cristalina da vermiculita	14
Figura 4 - Fluxograma dos critérios de seleção de seleção aplicados.	28
Figura 5 - Gráfico da relação entre a absorção de água e porosidade das argamassas..	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens da utilização da vermiculita expandida de acordo com os autores por propriedade analisada.	48
Tabela 2 - Tabela geral com os traços ou proporções utilizadas nos ensaios pelos autores, razão água cimento e o tipo de uso da vermiculita.	62
Tabela 3 – Tabela geral com os valores numéricos dos resultados obtidos por cada autor para cada propriedade estudada.	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades das argamassas no estado fresco e suas definições	5
Quadro 2 - Propriedades das argamassas no estado endurecido e suas definições	7
Quadro 3 - Características da vermiculita expandida	14
Quadro 4 - Tipos de cimentos e suas normas específicas	15
Quadro 5 - Influência da granulometria nas propriedades da argamassa.....	16
Quadro 6 - Classificação das adições minerais para concreto estrutural	23
Quadro 7 - Principais depósitos de Vermiculita no Brasil com as porcentagens de vermiculita.....	26
Quadro 8 - Publicações encontradas por base de dados.....	30
Quadro 9 - Artigos selecionados para serem analisados, separados por natureza, ano, método empregada e país de origem.	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Publicações por país de origem.....	33
Gráfico 2 - Valores encontrados no ensaio de consistência pelos diversos autores.	34
Gráfico 3 - Valores de absorção de água encontrado pelos autores.	37
Gráfico 4 - Densidade aparente e experimental obtidas pelos autores.	40
Gráfico 5 - Resistência à compressão obtido nos ensaios pelos autores.	42
Gráfico 6 - Condutividade térmica obtido nos ensaios pelos autores.....	46

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIACOES

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS EN	British Standard European Norm
CAU/BR	Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil
CEX	Cortiça expandida
COR	Cortiça natural
EPE	Empresa de Pesquisa Elétrica
EPS	Poliestireno expandido
ISO	Organização Internacional de Normalização
LS	Argila expandida
MC	Metacaulim
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
PCM	Material de mudança de fase
RC	Resíduo cerâmico
RTM	Resíduo de tijolo cerâmico modo
SSNS	cido naftaleno sulfônico
TS EM	Technical Specification European Standard
VE	Vermiculita Expandida
NM	Norma Mercosul
EFNARC	European federation dedicated to specialist construction chemicals and concrete system.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	1
2.OBJETIVOS.....	4
2.1.OBJETIVO GERAL.....	4
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1.ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO	5
3.1.1.PROPRIEDADE DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO	5
3.1.1.1.PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO.....	5
3.1.1.2.PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO.....	6
3.1.2.FUNÇÕES DO REVESTIMENTO EM ARGAMASSA	8
3.2.ARGAMASSAS TÉRMICAS	8
3.2.1.VERMICULITA EXPANDIDA	11
3.2.1.1.MINERALOGIA	13
3.2.1.2.PROPRIEDADES	14
3.3.INFLUÊNCIA DOS MATERIAS CONSTITUINTES NAS ARGAMASSAS TÉRMICAS.....	15
3.3.1.CIMENTO.....	15
3.3.2.AGREGADO MIÚDO	16
3.3.2.1.AREIA.....	16
3.3.2.2.AGREGADOS LEVES	17
3.3.2.3.ÁGUA.....	18
3.3.2.4.CAL HIDRATADA	18
3.3.2.5.ADITIVOS	19
3.4.DESEMPENHO TÉRMICO	20
3.4.1.DESEMPENHO TÉRMICO NAS ARGAMASSAS.....	21
3.5.NOVS MATERIAIS UTILIZADOS EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTOS.....	22
3.5.1.ADIÇÕES MINERAIS NAS ARGAMASSAS	22
3.6.ARGAMASSA DE REVESTIMENTO CONTENDO VERMICULITA.....	24
3.7.ARGAMASSA TÉRMICA NO CONTEXTO DA REGIÃO NORDESTE.....	26
4.MÉTODOS.....	28
4.1.FERRAMENTAS	28
4.2.METODOLOGIA	28
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30

5.1.ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	30
5.2.ANÁLISE DA LITERATURA.....	34
5.2.1.TRABALHABILIDADE	34
5.2.2.ABSORÇÃO DE ÁGUA E POROSIDADE.....	36
5.2.3.DENSIDADE DE MASSA	39
5.2.4.RESISTÊNCIA MECÂNICA	42
5.2.5.CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	46
5.3.VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DA VERMICULITA	48
6.CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS	52
APÊNDICE	62

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é detentora de grande parcela do consumo de energia que a natureza é capaz de oferecer, o que a torna responsável por gerar grandes impactos ao meio ambiente. Nesse sentido, é possível afirmar que o modo de construir mundialmente empregado é pouco efetivo considerando esse ponto de vista, uma vez que, repercute no atual cenário enfrentado pela civilização que é o método como o ser humano gerencia os recursos energéticos disponíveis.

Nesse âmbito de consumo energético desenfreado e crescimento econômico dos países, passou a discutir técnicas empregadas e materiais da construção civil que pudessem minimizar os impactos causados e ao mesmo tempo proporcionar a qualidade e o desempenho que as edificações atuais exigem. Uma das condições para se obter uma edificação considerada confortável nos dias de hoje é o desempenho térmico que a habitação é capaz de proporcionar ao consumidor.

A partir desse contexto, para suprir uma das demandas do conforto ambiental surge a utilização da climatização dos ambientes por meios artificiais com a utilização dos condicionadores de ar, que apesar de eficaz é uma solução não economicamente adequada devido ao elevado consumo de energia. De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Elétrica (EPE, 2018), estima-se que no Brasil a compra de aparelhos de ar condicionado duplicou entre os anos de 2005 e 2017 e o consumo de energia elétrica residencial oriundos da utilização dos aparelhos condicionadores aumentou cerca de 237% entre esses anos. Além disso, está entre os itens domiciliares que mais consomem energia elétrica, do qual passou a ser responsável por cerca de 14% do consumo total de energia elétrica doméstica no ano de 2017.

As condições climáticas e ambientais do lugar são fatores que interferem na análise do consumo de climatizadores artificiais nas edificações. Em regiões que sofrem com temperaturas elevadas durante muitos meses do ano, como é o caso da região nordeste do Brasil, o consumo de eletricidade devido a utilização dos aparelhos condicionantes aumenta pelo uso regular desses aparelhos.

Na busca por garantir que as habitações possuam padrões de qualidade e conforto as normas técnicas regulamentadoras criaram diretrizes abordadas na norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2013 com o objetivo de tratar sobre as demandas de desempenho das edificações residenciais.

A norma aborda os aspectos necessários que edificações devem apresentar para que sejam capazes de atender as demandas do consumidor ao longo de sua duração. Especificamente, um desses requisitos de habitabilidade é o desempenho térmico de forma que este seja obtido em condições naturais, sejam elas provenientes de ventilação, temperatura, características do lugar da edificação ou características da própria edificação como a utilização de materiais que lhe confirmam essa propriedade.

Nesse ensejo, aprimorar as propriedades dos revestimentos que envolvem as edificações torna-se uma solução em potencial para atender as demandas de desempenho térmico. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002) um revestimento em argamassa com espessuras em torno de 30 a 40% da espessura total da parede, pode ser responsável por cerca de 30% do isolamento térmico do sistema de vedação.

Sendo assim, é exequível se obter uma argamassa de revestimento que atenda a condição de isolante térmica por meio da utilização de agregados leves em substituição de parte dos agregados naturais. Segundo (KOKSAL; GENCEL; KAYA, 2015), existem muitos estudos sobre os agregados leves como pedra-pomes, perlita, argila expandida, poliestireno expandido e suas aplicações em sistemas leves, estes foram usados para a produção de blocos de alvenaria, painéis de parede, produtos de revestimento e concretos leves, onde obteve-se para os concretos leves propriedades superiores, como isolamento térmico (UNAL, 2007; DEMIRBOGA, 2003; CHEN, 2013).

Com tal característica, quando incorporados nas argamassas esses agregados assim como nos concretos desenvolvem-se com baixa densidade o que influencia nas propriedades de isolamento térmico, acústico, resistência ao fogo, assim como na redução do peso próprio e das cargas sobre a estrutura (BARROS, 2018). Dessa maneira, além de promover um melhor desempenho das argamassas também terá ganhos econômicos e ambientais devido a redução da utilização dos sistemas artificiais de arrefecimento.

Além da utilização de materiais alternativos na composição das argamassas como os agregados leves reciclados ou produzidos industrialmente, é possível também utilizar materiais oriundos de reutilização, por vezes advindos de resíduos produzidos pela própria construção civil como é o caso da adição de Resíduo de tijolo provenientes da moagem de resíduos cerâmicos que são utilizados como pozolana e apresentam potencial de aumento da resistência das argamassas.

Maycá, Cremonini e Recen (2008), apresentam a existência de diversos agregados leves que podem ser utilizados em substituição total ou parcial aos agregados convencionais, como argila expandida, pumicita (pedra-pomes), vermiculita e cinza volante sintetizada. Um dos agregados leves mais explorados na construção civil com o intuito de se obter propriedades térmicas nas argamassas é a vermiculita, classificada como agregado leve por possuir massa específica inferior a $1,80\text{g/cm}^3$ como estabelece a norma de Concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento: procedimento, NBR 12655 (ABNT, 2006).

A vermiculita é um mineral pertencente ao grupo dos silicatos, suas propriedades mais relevantes são baixa condutividades térmica, baixa densidade aparente, resistência, inércia química e ponto de fusão relativamente alto, o que lhe confere alta resistência ao fogo. Quando aquecido a temperaturas entre 650°C e 900°C tem seu volume expandido em até 30 vezes o seu volume original (RASHAD, 2016).

Possui inúmeras aplicações em diversas áreas como a agricultura, horticultura, indústria manufatureira, na indústria química e especificamente na construção civil é amplamente utilizado como isolante térmico, para produção de concretos leves e com isolamento acústico, portas a prova de fogo, para produção de painéis e divisórias, em materiais cimentícios tradicionais como argamassas.

A partir do que foi citado acima, nota-se que a utilização da vermiculita expandida como agregado leve empregado em argamassas para se obter propriedades térmicas é um tema que ainda precisa ser explorado. Desse modo, este estudo se propõe a avaliar com base em outros estudos previamente realizados a qualidade das argamassas para revestimento incorporadas com vermiculita expandida em substituição parcial do agregado miúdo e os impactos causados nas propriedades dessas argamassas, comparando os resultados dos trabalhos levantado aqui neste estudo.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Realizar uma revisão bibliográfica sistemática sobre argamassas térmicas de revestimento contendo vermiculita analisando suas propriedades.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar as regiões no mundo em que mais realizou-se pesquisa sobre a incorporação da vermiculita expandida na produção de argamassas;
- Analisar a influência da substituição parcial da vermiculita expandida nas propriedades de argamassa;
- Identificar pontos de convergências entre as pesquisas sobre as propriedades das argamassas;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão da literatura tendo como foco central as argamassas com propriedades térmicas. Será também contextualizado sobre a norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013, o desempenho térmico nas argamassas e uma síntese sobre os novos materiais utilizados em revestimento para se obter propriedades térmicas.

Ainda neste capítulo, há também um tópico sobre as adições minerais utilizadas em argamassas para melhorar suas propriedades, sobre o mineral vermiculita, argamassas incorporadas a esse mineral e por fim, será tratado sobre a necessidade de se adotar argamassas térmicas a realidade da região Nordeste do país.

3.1. ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO

3.1.1. PROPRIEDADE DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

As argamassas para fins de revestimento possuem diversas propriedades, para Carasek (2010) estas propriedades são divididas em propriedades no estado fresco e estado endurecido. No primeiro as propriedades são trabalhabilidade, consistência, plasticidade, retenção de água e de consistência, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial. Enquanto que no estado endurecido as propriedades são aderência e elasticidade.

3.1.1.1. PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

Em seu estado fresco as propriedades da argamassa influenciam diretamente na qualidade que espera que a mesma desempenhe, pois, segundo Leal (2012) o seu desempenho global depende a priori de capacidades como o seu espalhamento e trabalhabilidade, para serem aplicáveis, que condicionam o seu comportamento futuro. Nesse estado as principais propriedades estão dispostas no Quadro 1:

Quadro 1 - Propriedades das argamassas no estado fresco e suas definições. Fonte (LOURENCI,2003; CARASEK, 2010).

PROPRIEDADES	DEFINIÇÕES
Trabalhabilidade	propriedade que define a facilidade com que as argamassas podem ser misturadas; transportadas; manuseadas para a execução apresentando consistência e plasticidade adequadas, além de uma elevada retenção de água; consolidadas e acabadas

	em uma condição homogênea.
Consistência	capacidade que a argamassa possui em manter sua fluidez durante o período de aplicação, sendo influenciada pela quantidade de água que é inserida na mistura. É a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob ação de cargas.
Plasticidade	propriedade na qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a diminuição ou retirada das tensões de deformação, é influenciada pelo teor de ar, natureza e teor de ligantes e pela intensidade de mistura das argamassas.
Retenção de água	definida como a predisposição de uma argamassa fresca reter a água de amassadura, quando exposta à sucção do suporte, mantendo sua trabalhabilidade e possibilitando o seu endurecimento normal.
Coesão	referente às forças físicas de atração que existem entre as partículas sólidas da argamassa e às ligações químicas da pasta aglomerante.
Exsudação	tendência de desagregação da água (pasta) da argamassa, de forma que a água fica sobreposta aos agregados pelo efeito da gravidade.
Densidade de massa	a massa específica absoluta da mistura ligante/agregado, sendo desta forma o volume de material sólido não sendo considerados os vazios.
Adesão inicial	caracteriza o comportamento futuro do conjunto suporte-argamassa e depende das características de trabalhabilidade da argamassa e também quanto à porosidade e rugosidade do suporte onde a argamassa será aplicada. União inicial da argamassa no estado fresco ao substrato.

3.1.1.2. PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

Leal (2012) afirma que as considerações a respeito das propriedades das argamassas em seu estado endurecido estão relacionadas com o comportamento apresentando entre as argamassas e a superfície em que será aplicada.

Muitos autores citam diversas propriedades para esse estado, baseado no que julgam importante para obter uma determinada característica de argamassa e garantir um bom desempenho. Lourenci (2003 apud LEAL, 2012) afirma que as propriedades importantes desse estado são a resistência mecânica, deformabilidade, resistência ao fogo, resistência ao ataque por agentes químicos agressivos, retração, aderência, permeabilidade e condutividade térmica.

Enquanto que Carasek (2010 apud PCZIECZE, 2017), afirma que as propriedades importantes desse estado são a resistência mecânica, a durabilidade, a retração, a capacidade de absorver deformações e a aderência ao substrato. No quadro a seguir serão dispostas as principais propriedades das argamassas em seu estado endurecido de acordo com os autores citados (Quadro 2):

Quadro 2 - Propriedades das argamassas no estado endurecido e suas definições [LOURENCI, 2003; CARASEK, 2010; SANTOS, 2008; MACIEL, BARROS, SABBATINI, 1998].

PROPRIEDADES	DEFINIÇÕES
Retração	Resultado de um mecanismo complexo, associado com a variação de volume da pasta aglomerante que ocorre devido à perda rápida de água de amassamento e pelas reações na hidratação, gerando as fissuras nos revestimentos. As argamassas ricas em cimento apresentam maior probabilidade para o surgimento de fissuras durante a secagem.
aderência	Relacionado a manter-se fixo ao substrato, apresentando resistência às tensões normais e tensões tangenciais que surgem na interface base/revestimento. Essa aderência deriva da conjunção de três propriedades da interface argamassa-substrato: a resistência de aderência à tração; a resistência de aderência ao cisalhamento; a extensão de aderência.
Resistência mecânica	Refere-se à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos de diversas origens como: tensões de tração, compressão ou corte, sendo influenciada pelo endurecimento da argamassa, seus constituintes, suas características e sua pureza.
Resistência à tração	Predisposição da argamassa para resistir a uma força de tração aplicada perpendicularmente à sua superfície.
Resistência à flexão	Tensão de rotura de uma argamassa, determinada pela utilização de uma força de flexão em três pontos.

Resistência ao fogo	Capacidade da argamassa de quando submetidas a elevadas temperaturas resistir.
Resistência ao ataque de agentes químicos agressivos	Relacionado com a composição química da argamassa, natureza dos materiais, resistência ao desgaste superficial e à permeabilidade das argamassas, e dos materiais a ela adjacentes.
Condutividade térmica	Quantifica a habilidade dos materiais de conduzir energia térmica.

As argamassas são categorizadas de acordo com a sua finalidade em dois tipos principais: argamassas para assentamento, utilizadas para colar tijolos para alvenaria ou blocos e argamassas para revestimentos, essas são utilizadas para contrapisos, tetos e revestimentos de paredes.

O tipo de revestimento mais comumente empregado é o feito com argamassas, que deve envolver, nivelar a superfície e proteger as alvenarias no entorno das estruturas. É convencionalmente aplicada em três camadas, sua contextura deve ser de fácil aplicação e após efetuado deve estar apto a receber o acabamento. Esse trabalho tratará sobre as argamassas de revestimento produzidas com vermiculita com o objetivo de se obter revestimento com isolamento térmico.

3.1.2. FUNÇÕES DO REVESTIMENTO EM ARGAMASSA

O revestimento feito em argamassa possui atribuições que vão além da função de unicamente envolver as estruturas, deve proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo e dos agente agressivos, nos revestimentos externos devem integrar o sistema de vedação dos edifícios favorecendo com outras funções como o isolamento térmico (30%), isolamento acústico (50%), estanqueidade à água (70 a 100%), segurança ao fogo, deve também resistir a desgaste e abalos ocasionalmente superficiais, regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir de base para regular outro (CARASEK, 2010; LEGGERINI e AURICH ,2011).

3.2. ARGAMASSAS TÉRMICAS

A construção civil no Brasil passa por um processo de transição em relação aos seus critérios de qualidade e segurança das edificações. Com uma demanda cada vez maior de atender padrões cada vez mais exigentes para as edificações habitacionais a NBR 15.575

surgiu em um cenário de muitas discussões com enfoque na qualidade e eficiência que as edificações devem cumprir ao longo de sua vida útil. Em 2013 a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) estabeleceu a NBR - 15.575 “Edificações habitacionais - Desempenho”.

Com o intuito de reduzir a energia consumida, garantir as condições de conforto, habitabilidade e promover um melhor comportamento térmico das edificações foi aprovado em 2005 a NBR – 15220 (ABNT, 2005), relativo ao desempenho térmico das edificações. Nesse cenário têm aumentado cada vez mais a aplicação de materiais que melhorem a resistência da estrutura de forma mais leve e com maior facilidade de manuseio e aplicabilidade.

Um comportamento necessário as construções no contexto atual é o de isolamento térmico que deve ser conferido pela envoltória das edificações. Nesse âmbito, as argamassas com comportamento térmico melhorado têm papel fundamental na solução desse problema.

No mercado da construção civil existem diversas argamassas e produtos que apresentam desempenho térmico melhorado, muitas pesquisas científicas também estudam o comportamento de diversos materiais alternativos que quando empregados na argamassa promovem isolamento térmico, como por exemplo, argamassas com incorporação de materiais de mudança de fase (PCM). Com a utilização dos materiais de mudança de fase é possível a regulação da flutuação de temperatura dentro das edificações de modo tal que possa manter a temperatura desejada durante um maior período de tempo, reduzindo assim a necessidade de climatizadores (CUNHA et al, 2018).

A indústria da construção civil tem apostado na utilização de agregados leves incorporados nas argamassas e nos concretos, esses são caracterizados como “leves” por possuírem baixa massa unitária, essa característica é explicada devido a esses agregados terem estrutura porosa. Os agregados leves empregados nas argamassas podem ser oriundos da reutilização de materiais ou produzidos industrialmente.

Um exemplo de agregado proveniente da reciclagem é a dosagem de cortiça ou de EPS (Polímero termoplástico obtido através da expansão de poliestireno), o qual minimiza a condutibilidade térmica quando incorporado em argamassas, o resíduo é obtido da indústria corticeira e contribui para a sustentabilidade ambiental os estudos são

feitos com substituições de até 80% do volume de argamassa por volume de granulado de cortiça/EPS.

Como supracitado, além do emprego de agregados leves obtidos através da reciclagem existem outras pesquisas com o objetivo de promover a incorporação de agregados artificiais como é o caso da argila expandida (LS).

Barroca, Nepumuceno e Oliveira (2015), realizaram experimentos com argamassas de revestimento utilizando agregados artificiais de argila expandida (LS) e agregados provenientes da reciclagem, cortiça natural (COR), cortiça expandida (CEX) e o poliestireno expandido (EPS), em substituições de até 100% que confirmaram a possibilidade da utilização dos agregados leves como uma alternativa de complemento aos agregados naturais.

Existem também trabalhos que avaliam a influência da adição de materiais alternativos como as cinzas de carvão (pesadas), raspas de pneu e areia de fundição no nível de isolamento térmico em argamassa de revestimento interno, as raspas de pneu moídas são oriundas de reciclagem das carcaças dos pneus e também apresenta potencial de utilização como agregado miúdo na argamassa (GOLUB; SILVA, 2017).

Nesse contexto, tem-se optado pelo reuso de subprodutos ou a utilização de adições de produtos industrialmente fabricados de modo que as propriedades das argamassas como, trabalhabilidade, resistência e durabilidade não sejam afetados.

Cunha *et al* (2018), afirma que:

Atualmente, existem vários tipos de argamassas possíveis de aplicar como revestimento no interior dos edifícios, o que torna extremamente difícil a seleção do material com comportamento mais adequado. Assim, existe a necessidade de as classificar de forma criteriosa e com base num procedimento único, de forma a evidenciar claramente aquelas que possuem um comportamento mais adequado, tendo em conta a exposição e funções que irão desempenhar após a sua aplicação.

Para este trabalho serão direcionados os estudos das argamassas contendo vermiculita, mineral bastante empregado na construção civil atualmente, mais comumente empregado sob a sua forma expandida. Na procura por materiais que apresentem máxima eficiência para isolamento térmico, a vermiculita surge como alternativa para tal, seu emprego têm acontecido na fabricação de produtos acabados

(placas, painéis,tijolos, entre outros), como também na forma de produtos monolíticos, como as argamassas e enchimentos (PESSATTO, 2005).

3.2.1. VERMICULITA EXPANDIDA

A vermiculita foi descoberta no início do século 20 nos Estados Unidos no estado de Massachusetts por Thomas H. Webb, recebe esse nome por assemelhar-se a pequenos vermes e ao fato de sofrer expansão quando aquecida (CINTRA, 2014; HINDMAN, 1994).

Na busca por materiais de construção que apresentassem características que possibilitem maior eficiência energética das edificações, surgiram inúmeras pesquisas estimuladas a estudar o emprego de agregados leves como a vermiculita, mineral natural que apresenta diversas propriedades importantes, como: baixa densidade baixa condutividade térmica e elevada resistência ao fogo (AGUIAR , 2017).

Pertencente à família das micas, uma de suas principais característica é apresentar uma camada de cátions de magnésio hidroxilados e é devido a essa presença que ocorre a exfoliação após o aquecimento, provocando a eliminação da água interlamelar existente em temperaturas acima de 300°C, o fenômeno é caracterizado pela expansão volumétrica de até 30 vezes o tamanho original, os vazios criados devido a expansão são preenchidos por ar e conferem a baixa densidade da vermiculita, isolamento térmico e absorção acústica (CINTRA, 2014; BERNHOEFT, GUSMÃO, TAVARES ,2011).

Em consonância com Rashad (2016), o quanto irá expandir em seu processo de esfoliação depende de muitos fatores como a taxa de aquecimento, o tempo de retenção na temperatura de pico, a taxa de resfriamento, teor de umidade, estruturas das hidrômicas, dentre outros fatores. Suas partículas são placas delgadas, possui uma estrutura porosa e brilho sedoso, separados por uma fina camada de ar, sua cor, composição do grão, forma e brilho está relacionado com sua origem, tal como mostrado na figura 1.

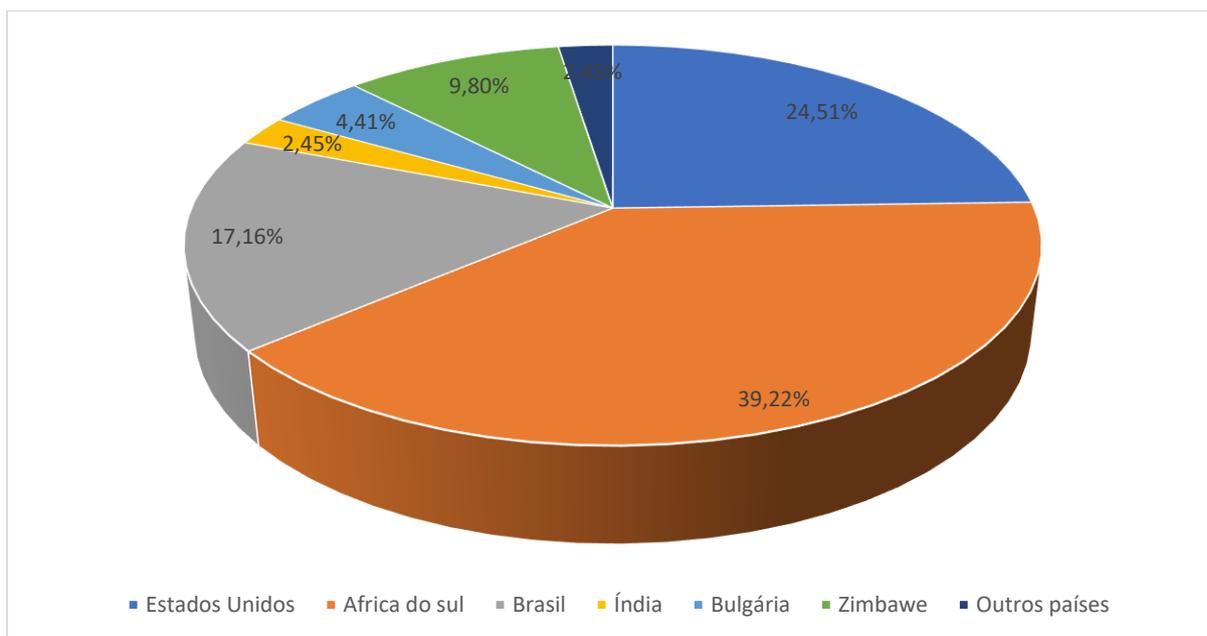
Figura 1 - Vermiculita.

Fonte: Rashad, 2016.

A vermiculita caracteriza também um grupo de minerais micáceos que são comercializados, formado por dezenove tipos de silicatos hidratados de magnésio e alumínio, com ferro e outros elementos. O que faz a vermiculita ter valor no mercado é sua camada de moléculas de água que fica entre as camadas de alumínio e silício na estrutura do mineral, o que explica a sua expressiva expansão, quando expandida é quimicamente ativa, inerte e possui baixa densidade.

No Brasil, os depósitos são encontrados no estado da Paraíba, Goiás e Piauí, nas jazidas brasileiras os minérios encontrados não possuem asbestos o que atribui aos concentrados de vermiculita maior valor agregado e aumenta a taxa de aproveitamento do minério (Ugarte *et al.*, 2008). Na figura 2 a seguir estão dispostos os valores de produção mundial de vermiculita por país:

Figura 2 - Porcentagem da produção de vermiculita em relação à produção mundial total no ano de 2015.



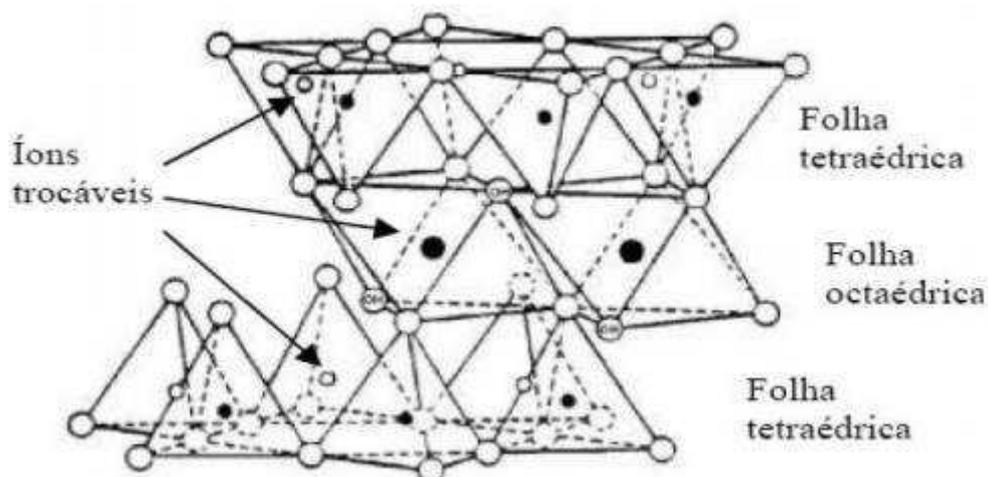
Fonte: Kimball, 2016.

Estimou-se uma produção aproximada de 381 e 408 mil toneladas entre os anos de 2014 e 2015, respectivamente (KIMBALL, 2016). Existem minas de vermiculita localizadas em diversos países ao redor do mundo. No gráfico foram apresentados os principais países produtores de vermiculita.

3.2.1.1. MINERALOGIA

Mineral da família dos filossilicatos com semelhança ao grupo micáceo. É um silicato hidratado de forma lamelar, forma cristais planos hexagonais de clivagem bem definida e paralela à direção das superfícies planas o que faz se dividir em lâminas, ou finas lamelas flexíveis. Contêm duas camadas tetraédricas de silícios e uma camada octaédrica de alumínio entre elas, os dois grupos têm seus vértices compostos por íons de oxigênio e hidroxila ao redor de pequenos cátions (Ugarte *et al.*, 2008).

Formada em condições naturais, como hidrotermal alternância de biotita, intemperismo ou flogopita. Constituído principalmente por SiO₂ (cerca de 37-42%), MgO (14-12%), Al₂O₃ (10-13%), Fe₂O₃ (5-17%), H₂O (8-18%) e ainda cerca de (1-3%) de FeO. Essa variação em sua composição química pode alterar suas propriedades físicas, como o Ph, Suvorov 2003 (apud RASHAD, 2016). Na figura 3 é esquematizado a estrutura cristalina da vermiculita:

Figura 3 - Estrutura cristalina da vermiculita

Fonte: GOMES,2007.

3.2.1.2.PROPRIEDADES

A vermiculita manifesta as mesmas propriedades físicas da mica, em relação à clivagem típica, separando-se em finas lamelas flexíveis, sem elasticidade. As suas cores podem variar do bronze ao amarelo-amarronzado, com brilho perolado típico (Ugarte *et al.* 2008). Em sua forma expandida a vermiculita apresenta características atrativas para sua aplicação (Quadro 3):

Quadro 3 - Características da vermiculita expandida [CINTRA, 2014; MME, 2009; REFRÁTIL, 2016].

Características	Definições
Capacidade de absorção de água	Possui alta capacidade de reter água, chegando a absorver até 5 vezes o seu próprio volume, devido a sua porosidade.
Incombustibilidade	Suporta temperaturas de até 1.100 °C com sua estrutura permanecendo inalterada. Sua sinterização ocorre a partir dos 1150°C.
Baixa condutividade térmica	Pelo preenchimento dos vazios pelo ar, entre as lamelas, expandida a vermiculita torna-se um material poroso, o que lhe confere baixa condutividade térmica, viabilizando o seu uso como isolador térmico, sua condutividade térmica é de cerca de 0,06 kcal m/m ² °C, a 25 °C.

Baixa condutividade acústica	Permite a redução de ruído externo em até 62% quando usada em argamassas ou concretos.
------------------------------	--

3.3. INFLUÊNCIA DOS MATERIAS CONSTITUINTES NAS ARGAMASSAS TÉRMICAS

3.3.1. CIMENTO

O cimento na mistura de argamassa tem como função assegurar a resistência das misturas, aumentar a aderência, contribuir com a trabalhabilidade e retenção de água. Entretanto, quando utilizado em excesso, aumenta muito a retração da argamassa o que pode interferir diretamente na durabilidade da aderência, quanto maior for a quantidade de cimento maior será o calor de hidratação na argamassa que em excesso pode causar a retração da argamassa que posteriormente pode estimular o aparecimento de trincas e fissuras (KALIL; LEGGERINI, 2016). Classificam-se em diferentes tipos e são regidos por normas específicas como mostra no Quadro 4:

Quadro 4 - Tipos de cimentos e suas normas específicas

Denominação	Sigla	Norma
Portland Comum	CP I	NBR – 5732
Portland composto com Escória	CP II-E	NBR – 11578
Portland composto com pozolana	CP II-Z	NBR - 11578
Portland composta com filler	CP II-F	NBR – 11578
Portland de alto forno	CP III	NBR – 5735
Portland pozolânico	CP IV	NBR – 5736
Portland de alta resistência inicial	CP V-ARI	NBR - 5733

Fonte: ABCP (2002).

Na produção de argamassas térmicas alguns estudos preferem o emprego do CP V-ARI (Cimento Portland de alta resistência), por possuir em sua constituição valores mínimos de adição, o que possibilita uma melhor análise do comportamento de outras pozolanas empregadas em conjunto nas argamassas térmicas. Além disso o CP V-ARI, é importante para mitigar os efeitos causados na baixa resistência das argamassas com agregados leves, pois ela é caracterizada por atingir alta resistência nos primeiros dias.

Outros estudos empregam o CP II-F (Portland composta com filler), esse cimento possui baixa perda de suas características ao fogo, uma característica importante é que esse cimento possui uma boa compatibilidade quando usado com aditivos, levando em consideração que grande parte dos estudos com agregados leves usam aditivos em suas

composições. Em Cintra et al. (2014), foi utilizado o CP II-F 32 juntamente com a Cal nas misturas em traços diversos, com o intuito de compensar a perda de resistência mecânica das misturas quando os teores de vermiculita e outros agregados foram aumentados.

3.3.2. AGREGADO MIÚDO

3.3.2.1. AREIA

A areia é o agregado miúdo constituinte da argamassa, possui origem mineral em que predomina o quartzo, quando incorporado a mistura atua de forma a aumentar a sua eficiência e atenuar os efeitos do uso demasiado de cimento. De acordo com Bauer (2008) as areias usadas na mistura podem ser advindas de diversas fontes como rios, cava e processo de britagem e o seu diâmetro pode variar entre 0,06 a 2,0 mm, como material de construção a areia precisa ter grãos formados de material consistente e não necessariamente quartzoso (ABCP, 2002).

A granulometria do agregado está diretamente relacionada com a característica que se pretende adquirir da argamassa, além de influenciar na proporção do aglomerante (cimento) e da água. Por exemplo, as areias mais finas ou de granulometria menor aumentam a trabalhabilidade da mistura, provocando uma melhor aderência entre as partículas, apesar disso a resistência é consideravelmente reduzida pois, segundo Martins (2008, p. 28) as areias mais finas requerem mais água, por terem maiores áreas específicas. Sendo assim, quanto maior o uso de areias finas maior será a quantidade de água de amassamento necessária.

Em contrapartida, as areias de maior granulometria aumentam a resistência à compressão. Ainda de acordo com Martins (2008, p. 16) a resistência à compressão e o módulo de elasticidade dos agregados são propriedades inter-relacionadas, que são influenciadas pela porosidade. O quadro 5 mostra de que forma a granulometria do agregado miúdo influencia nas propriedades da argamassa.

Quadro 5 - Influência da granulometria nas propriedades da argamassa.

Propriedade	Quanto mais fino	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	-	Melhor

Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	-
Porosidade	-	Aumenta	-
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistência mecânica	-	Pior	-
Impermeabilidade	Pior	Pior	-

Fonte: ABCP (2002).

3.3.2.2. AGREGADOS LEVES

Nas argamassas térmicas os agregados leves são comumente utilizados substituindo a areia parcialmente ou integralmente para obter determinadas características nas argamassas, são encontrados na natureza ou produzidos industrialmente. Esses agregados podem fornecer redução no peso estrutural devido sua baixa densidade aparente, isolamento termo-acústico e promovem a sustentabilidade do ambiente.

A vermiculita é um agregado leve bastante disseminado por possuir características químicas, mineralógicas e estruturais que conferem propriedades como incombustibilidade, retenção de água, isolamento térmico e acústico, diminuição do peso da argamassa, ausência de toxidez dentre outras características. Outro agregado interessante é a borracha reciclada de pneus, que confere as argamassas e concretos melhora na resistência ao impacto (Cintra et al., 2014).

Outros exemplos de agregados leves são a argila expandida, poliestireno expandido, pumicita e perlita, esses agregados possuem elevada porosidade devido a sua micro-estrutura, sua utilização nas argamassas está relacionada a obter estruturas leves. Um ponto que deve ser ressaltado, é que a utilização desses agregados leva ao maior consumo de água devido a sua porosidade, devido a isso normalmente quando incorporados requerem uma maior relação água/cimento para que a trabalhabilidade da pasta não seja afetada.

A granulometria e o volume desses agregados influenciam nas propriedades microestruturais da argamassa de modo que a estrutura porosa tem papel fundamental, a formação da estrutura porosa em argamassas está relacionada com o excesso de água para o processo de hidratação necessário nessas misturas, quando essa água evapora dar lugar aos espaços vazios, que se estiverem na zona de ligação entre a pasta do aglomerado e as partículas do agregado utilizado é denominado porosidade de interface. Entretanto, se os poros forem pequenos e forem resultado do processo de endurecimento do material

aglomerante denomina-se porosidade de matriz (BARROCA; NEPOMUCENO; OLIVEIRA, 2015).

3.3.2.3. ÁGUA

Na mistura a água é o elemento que promoverá as reações químicas e o processo de endurecimento da argamassa, por meio da reação de hidratação do cimento criando a pasta (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

De forma prática, a água é dosada até se atingir a consistência da mistura, logo, é o elemento capaz de promover a trabalhabilidade da mistura em seu estado fresco. Recomenda-se a utilização de água potável para o amassamento, visto que a água que conter matéria orgânica poderá afetar a qualidade da argamassa.

Em argamassas térmicas contendo agregados leves, o consumo de água até se atingir a consistência necessário costuma ser maior devido ao poder absorvivo dos agregados mais leves a relação água/cimento costuma ser maior, podendo impactar de forma negativa na resistência mecânica.

3.3.2.4. CAL HIDRATADA

Conforme a ABNT NBR 7175:2003 Cal hidratada para argamassas, a cal hidratada é um pó obtido por meio da hidratação de cal virgem, composta por uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

Argamassas que contenham apenas a presença de cal, nessas misturas seu papel é ser aglomerante. Observa-se nessas argamassas a melhoria na trabalhabilidade e na capacidade de absorver deformações. Nas argamassas em contêm cimento e a cal há retenção de água na argamassa devido a finura da cal que retém líquido no entorno de suas partículas o que impacta de forma negativa na resistência. Apesar disso, a cal pode melhorar a hidratação do cimento e melhorar algumas propriedades como a trabalhabilidade e capacidade de absorver deformações (ABCP, 2002).

Em argamassas de isolamento, a cal costuma ser utilizada de forma mista (cimento e cal), nessas argamassas o processo de cura é mais correto, a água armazenada pela cal é liberada de modo gradual e lento, devido a sua finura retém por mais tempo a água de amassamento, caracterizando como argamassas plásticas. A cal preenche os vazios entre

os grãos dos agregados, melhorando a retenção de água e conseqüentemente promovendo o melhoramento da trabalhabilidade das misturas.

3.3.2.5. ADITIVOS

Materiais adicionados nas argamassas em conteúdo inferior a 5%, com funções de promover melhoria na trabalhabilidade, pega e endurecimento e resistência. Os principais tipos são redutores de água, incorporadores de ar, retardadores de pega e aceleradores de pega são definidos a seguir de acordo com Neville, (2013):

- Aditivos aceleradores de pega, aceleram o endurecimento da argamassa e o desenvolvimento da resistência inicial o cloreto de cálcio é o mais comum (CaCl_2);
- Aditivo retardador de pega, retardam a hidratação inicial dos grãos de cimento, em particular dos aluminatos, permitindo maior tempo de manuseio da argamassa;
- Aditivo redutor de água, objetiva produzir argamassas com maior resistência pela redução da relação água/cimento para mesma trabalhabilidade de uma mistura sem aditivo; obter a mesma trabalhabilidade pela redução de cimento, bem como para reduzir o calor de hidratação em argamassa ou para aumentar a trabalhabilidade de modo a facilitar o lançamento em locais inacessíveis. São exemplos desse aditivo, os plastificantes e superplastificantes.
- Aditivo incorporadores de ar são materiais orgânicos, adicionados na água de amassamento, que promovem a entrada de uma quantidade controlada de ar, fluidifica e plastifica a argamassa devido à formação de bolhas de, tem a função principal de suprir a deficiência de finos e podem reduzir a relação água/cimento, compensando a diminuição da resistência devido a maior quantidade de ar. É necessário controlar a quantidade de ar incorporado pois o excesso pode levar quedas de resistência expressivas;

Os aditivos podem ser acrescentados em argamassas térmicas para minimizar os impactos causados em algumas propriedades, o superplastificante por exemplo permitem a redução de água sem incorporar ar ou retardar a pega e dessa forma compensam a perda de resistência mecânica na argamassa causada pela elevada porosidade. Cintra (2014),

utilizou como aditivo sal sódico de ácido naftaleno sulfônico (SSNS) em pó, como superplastificante para mitigar o efeito da perda de resistência em teor de 0,3% de adição.

3.4. DESEMPENHO TÉRMICO

Como sabido até então, além das alternativas de arrefecimento artificiais as edificações podem adotar soluções estratégicas nos materiais de envoltória que forneçam propriedades no clima local que amenizem a transmissão de calor e ao mesmo tempo diminua o consumo energético. Desse modo, o desempenho térmico equivale a uma reação da edificação correlacionada ao clima local e as características dos materiais que foram utilizados na superfície que envolve a edificação e que tem impacto direta no desempenho térmico.

O desempenho térmico tem relação com o conforto térmico, que pode ser entendido como uma sensação humana, subjetiva e que depende de fatores físicos, fisiológicas e psicológicos. O conforto térmico reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Analisar os condicionantes necessários para que seja possível conceber um ambiente térmico favorável as atividades do homem e estabelecer os mecanismos para obter uma avaliação térmica são a guia para os estudos em conforto térmico e são baseados na satisfação humana; desempenho em atividades intelectuais; manuais e perspectivas; e conservação de energia (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014; ASHARAE -55 , 2004; BARROS, 2018).

Para mensurar o desempenho térmico fundamenta-se em um padrão de referência, comparando com outras situações examinadas. Para tanto, é preciso verificar quais fatores levaram a edificação a ter determinado comportamento térmico, essas variáveis são fatores que contribuem para otimizar o desempenho térmico da edificação. São alguns desses fatores o tempo de exposição, excitações do clima, ambiente ou material e condições de utilização, período de ocupação, número de ocupantes, os equipamentos usados e os materiais utilizados em sua construção (CINTRA, 2013; NOGUEIRA e NOGUEIRA, 2003; SOUSA, 2012).

Um consenso comum em relação ao desempenho térmico é que as condições climáticas do meio são condicionantes para a adaptação do lugar ao conforto que este deve propor. Portanto, as características térmicas que uma edificação deve desempenhar está relacionada com as temperaturas da região em que está inserida, ou seja, as

necessidades de regulação de temperatura irão depender se o ambiente é mais quente ou mais frio.

O segredo para preservar uma temperatura equilibrada na edificação é reduzindo as perdas de calor para fora do ambiente nas épocas frias e reduzir a absorção de calor da edificação no verão. Nos países com bruscas variações climáticas utilizam largamente os sistemas de aquecimento e resfriamento que são vilões do consumo de energia. Devido a isso, é de suma importância a criação de materiais que proponham o isolamento térmico para o conforto ambiental e diminuição do gasto de energia (SILVA, 2016).

No Brasil, a discussão sobre conforto térmico em habitações é um tema recente e ainda pouco abordado. No ano de 2005 quando entrou em vigência a ABNT NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações, a construção civil foi direcionada a discutir sobre a utilização de matéria que se adequassem os projetos a realidade de cada tipo de clima. Em sua terceira subseção a norma prevê o zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

3.4.1. DESEMPENHO TÉRMICO NAS ARGAMASSAS

Quanto mais leve for uma argamassa menor será sua condutividade térmica e assim irá viabilizar melhor isolamento térmico, propriedade essa superior em relação as argamassas comuns de cimento Portland que por si só não conferem essa propriedade satisfatoriamente. Com a discussão atual acerca da melhoria do desempenho das edificações, as pesquisas têm-se aprofundado mais em promover otimização dos materiais utilizados na envoltória das paredes de edificações.

O primeiro país a utilizar um sistema de revestimento que continha isolamento térmico nas fachadas de edificações foi a Alemanha em uma indústria, por volta da década de 50 e só começou a ser implantando em edificações residenciais em 1960. Outros países como Portugal, o sistema de isolamento térmico nas edificações é empregado pela construção civil desde a década de cinquenta mas só foi regulamentado em meados anos 90, enquanto que no Brasil essa preocupação com o desempenho térmico das habitações só veio recentemente com o processo de normatização em 2005 (MOURA, 2012; SOUSA 2010).

O isolamento térmico tem expressões mais significativas nas envoltórias das fachadas, e é executado aplicando pelo exterior ou pelo interior das paredes externas das edificações, utilizando materiais por exemplo de revestimento que possuem características térmicas melhoradas como as argamassas térmicas. Os sistemas aplicados pelo exterior são os mais eficazes e mais vantajosos e as argamassas leves embora apresentem propriedades de isolamento térmico tem sua resistência mecânica reduzida (SOUSA, 2010).

Ainda de acordo com Sousa (2010), no que se refere a melhoria no isolamento térmico de paredes de alvenaria, esta passa pela minimização do coeficiente de transmissão térmica U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), coeficiente definido como “a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que o elemento separa”.

Desse modo, as argamassas de revestimento que são desenvolvidas para desempenhar propriedades térmicas devem utilizar materiais que apresentam baixa condutividade térmica, estrutura porosa e baixa densidade, pois essas características possibilitam a contenção da transferência de calor entre as superfícies.

3.5. NOVOS MATERIAIS UTILIZADOS EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTOS

3.5.1. ADIÇÕES MINERAIS NAS ARGAMASSAS

Desde muito tempo a indústria mineradora contamina o meio ambiente com enorme quantidade de rejeitos descartados devido a extração de minérios. Uma forma de reutilizar esses materiais que são descartados é utiliza-los na produção das argamassas.

As adições minerais são materiais sólidos que quando somados ou substituídos parcialmente no cimento Portland modificam a microestrutura, as propriedades mecânicas e ainda promovem benefício ambiental. As principais adições minerais que são utilizadas em substituição parcial ao cimento Portland são o metacaulim, a sílica ativa e a escória de alto forno, que são largamente empregados na construção civil (Ribeiro *et al.* 2018).

Segundo a ABCP (2014), a utilização de adições minerais nos cimentos tem contribuído de forma eficaz no controle e redução da emissão de gás carbônico produzido

pela indústria no Brasil. Portanto, além de apresentar uma forma de ajudar com a sustentabilidade, diversifica as aplicações e pode contribuir a produzir características específicas que se pretende obter do cimento.

A adição mineral escória de alto forno mostrou nos estudos de Castellano et al. (2016), uma melhoria em relação a resistência a compressão do cimento Portland, porém apresentou menor reatividade que as adições de sílica e metacaulim.

Enquanto que as adições com a sílica ativo e metacaulim na mistura cimentícia nos estudos de Kadri et al. (2011), aceleraram o processo de hidratação das partículas de cimento, isso deve-se ao fato de que as micropartículas do metacaulim e da sílica ativa desempenharem como pontos heterogêneos de nucleação em que os primeiros hidratos serem capazes de precipitar e a partir daí diminuir o período de dormência levando a aceleração da hidratação, ademais essas adições podem provocar melhorias nas propriedades mecânicas e na durabilidade da mistura.

As adições minerais podem ser classificadas quanto as suas ações físico-químicas, em diferentes grupos como esquematizado no quadro 6:

Quadro 6 - Classificação das adições minerais para concreto estrutural

Classificação	Tipo de adição
Cimentantes	Escória granulada de alto-forno
Cimentantes e pozolânicas	Cinza volante com alto teor de cálcio (CaO > 10%)
Superpozolanas	Sílica ativa, metacaulim, cinza de casca de arroz produzida por combustão controlada (predominantemente amorfa)
Pozolanas comum	Cinza volante com baixo teor de cálcio (CaO < 10%), argilas calcinadas, materiais naturais (cinzas vulcânicas e sedimentares)
Pozolanas pouco reativas	Escórias de alto forno resfriada lentamente, cinza de casca de arroz predominantemente cristalina, cinzas de forno, escória de caldeira, palha de arroz queimado em campo
Adições inertes (Fíller)	Calcáreo, pó de quartzo, pó de pedra

fonte: adaptação de Mehta e Monteiro, 2008.

Como mostrado no quadro, esses minerais podem possuir propriedades pozolânicas, cimentíceas ou serem sem reatividade. Quando adicionados nas argamassas podem proporcionar características em teores variados as argamassas.

Um exemplo é a redução da porosidade o que decorre em uma menor permeabilidade aos fluídos. Esta característica ocorre pela ação física de preenchimento do filler e químicas das pozolanas que acontecem durante o processo de hidratação do cimento. As adições minerais mais utilizadas são as cinzas volantes, cinza de casca de arroz, escória de alto forno, sílica e metacaulim (TRINDADE, 2011).

Na construção civil as aplicações da vermiculita tanto na forma natural quanto na forma expandida são diversas, pode ser incorporada como isolante térmico, isolador acústico em paredes, na forma de massa para revestimento, devido à sua baixa condutividade térmica e pequena propagação sonora, também é empregada para a fabricação de concretos leves, termo utilizado por alguns autores para descrever uma argamassa com agregados leves, como a vermiculita, utilizada como contrapisos ou enchimento de lajes metálicas para diminuição de carga nas estruturas convencionais (CASTRO, 2012 apud CINTRA, 2014; MME, 2009; UGARTE *et al.* 2008; REIS, 2002).

A aplicabilidade da vermiculita depende em geral da sua granulometria e pureza. As mais finas normalmente são empregadas diretamente na construção civil, enquanto que as mais grossas possuem fins de horticultura, cultivo e germinação de sementes, dentre outros. Ainda nesse âmbito a vermiculita pode ser agregada na composição de argamassas asfálticas, anti-vibratórias e acústicas para recobrimento de assoalhos, argamassas acústicas e decorativas fabricadas com mistura de gesso e vermiculita (UGARTE *et al.*, 2008; MME, 2009).

Em virtude da sua propriedade de incombustibilidade, também pode ser incorporada a argamassas projetáveis para revestimento anti-fogo de estruturas metálicas, escadas de incêndio ou estruturas de suporte de equipamentos e como componente de divisórias retardantes ao fogo e proteção térmica de impermeabilizantes em lajes expostas ao tempo (REFRÁTIL, 2016; MME, 2009).

3.6. ARGAMASSA DE REVESTIMENTO CONTENDO VERMICULITA

O uso da vermiculita nas argamassas não impacta apenas nos ganhos relacionados as propriedades que esse mineral pode oferecer, proporciona também uma via da construção civil minimizar os seus impactos causados a natureza e conseqüentemente a redução do gasto dos recursos naturais. Além disso, novos produtos surgem com novas

características, como o que acontece com as argamassas, que apresenta boa recepção em agregar a sua estrutura resíduos minerais.

Os revestimentos utilizando argamassas constitui um dos principais tipos de sistema de vedação de edificações, que possui como uma das suas principais funções conferir isolamento térmico. Para tanto, a argamassa deve apresentar bom desempenho de suas propriedades no estado endurecido como, trabalhabilidade, resistência à compressão e aderência sob tração (CARASEK, 2007).

A vermiculita em sua forma expandida é bastante utilizada nas argamassas leves, pois suas características químicas, mineralógicas e micro-estruturais, proporcionam propriedades úteis, como a redução do peso estrutural, ausência de toxidez, incombustibilidade, capacidade de absorver líquidos, isolamento acústico e isolamento térmico (CINTRA, 2014).

A vermiculita apresenta baixa condutividade térmica ($60\text{cal/m}^2\text{ h }^\circ\text{C}$, a 25°C). Para este fim, utilizam a vermiculita nas granulometrias média, fina e superfina, normalmente nessas argamassas utiliza-se as proporções conhecidas em volume. Um produto conhecido no mercado da construção civil é o vermifloc, agregado para argamassas de rebocos, comumente utilizado sem fibra, com granulometria ajustada para um preciso entrelaçamento dos grãos com cerca de 30% de redução do volume (Ugarte *et al.*, 2008).

De acordo com (Refrátil, 2016; NTC Brasil, 2016). O traço das argamassas contendo vermiculita dependerá do objetivo da sua aplicação, para argamassa de revestimento de paredes internas com isolamento térmico o traço mais comum é 3:1:1:1 (vermiculita: cal: cimento: areia), ou 3:1:1 (vermiculita: cal: cimento). Enquanto que JNE Representações (2016 apud SILVA 2016) afirma que o traço ideal para revestimentos é de 1:5 (cimento: vermiculita), com espessura entre 20 e 30mm.

Rashad (2016), relatou em seu trabalho que a trabalhabilidade das misturas com vermiculita expandida aumentou com o aumento da quantidade de vermiculita na mistura, e essa melhoria na propriedade pode estar relacionada com aumento do conteúdo aéreo na mistura. Para ele, entretanto, essa propriedade nas misturas contendo vermiculita ainda precisa de mais investigações.

Em Cintra (2014), com substituição parcial do agregado miúdo pela vermiculita juntamente com o uso de borracha de pneu reciclado, as argamassas produzidas apresentaram resultados satisfatórios quanto as propriedades no estado fresco e endurecido, ainda apresentaram bom desempenho quanto a resistência à compressão e aderência a tração. As propriedades permaneceram dentro do estabelecido pela norma, não alterando, portanto, seu desempenho.

Schackow et al. (2014), apontou em seus estudos que a utilização de vermiculita na mistura reduziu o peso unitário e explica que essa redução é causada devido as partículas de vermiculita possuírem baixa densidade aparente, devido a presença de vazios no agregado ou nos interstícios entre as partículas do agregado e conclui que a vermiculita expandida para produzir matérias leves como argamassas.

Xu *et al.* (2015), em sua pesquisa utilizando parafina/ vermiculita expandida como agregado, mostrou redução de 49,3% e 64% da condução térmica em substituição de 50% e 100% da areia por parafina e vermiculita.

3.7. ARGAMASSA TÉRMICA NO CONTEXTO DA REGIÃO NORDESTE

No Brasil, segundo Ugarte (2008), na região nordeste há depósitos e jazidas com reserva expressiva de vermiculita nos estados na Paraíba e Piauí. A Paraíba detém a 4º maior reserva do país, com destaque para a cidade de Santa Luzia onde há exploração ativa desse mineral. De acordo com o quadro 7, são expostos os principais depósitos de vermiculita do Brasil:

Quadro 7 - Principais depósitos de Vermiculita no Brasil com as porcentagens de vermiculita.

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

Fonte: Adaptado (Reis, 2002).

Como supracitado, a vermiculita é um material em abundância e se apresenta como uma possível solução para amenizar os impactos das elevadas temperaturas que os sistemas de edificações no Nordeste estão submetidos. Ademais, apresenta-se como um recurso economicamente viável e capaz de atender o pré-requisito da norma de

desempenho de conforto sem prejudicar as propriedades que as argamassas devem desempenhar.

Em cidades quentes, as paredes externas são as mais expostas ao calor excessivo. As soluções mais onerosas são os dos sistemas de ar condicionados que gera alto consumo de energia elétrica. Algumas empresas com o intuito de atenuar essa situação no nordeste do Brasil, produziram soluções sustentáveis que são as argamassas térmicas prontas, alguns produtos prometem reduzir em até 10°C a temperatura ambiente utilizando esse produto como revestimento.

4. MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas todas as etapas realizadas neste estudo, bem como quais ferramentas foram utilizadas.

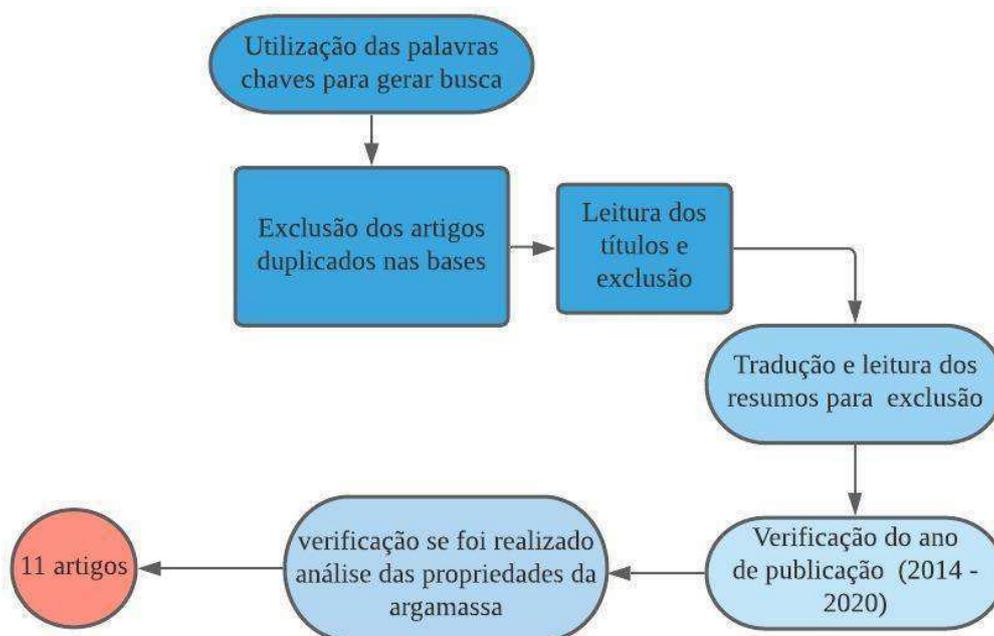
4.1. FERRAMENTAS

Os materiais utilizados foram as bases de dados Scopus, sciELO, Science Direct e Web of science, Engineering Village, de onde foram retiradas as fontes para a execução desta pesquisa, utilizando palavras-chave. As bases foram escolhidas de acordo com a relação estabelecida com a área da pesquisa, essas bases forneceram em sua grande maioria artigos científicos publicados em periódicos e revistas científicas.

4.2. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática acerca do tema utilizando como fonte, artigos, publicações, livros, e outros trabalhos científicos que foram retirados de bases de dados disponíveis, reunindo informações, analisando, comparando e identificando pontos de convergência para os diferentes dados encontrados entre os autores. Na Figura 5 é apresentado um fluxograma com as etapas realizadas nesse trabalho.

Figura 4- Fluxograma dos critérios de seleção aplicados.



Fonte: Autoria própria (2020).

Para que a busca pudesse extrair o máximo de artigos relacionados com a pesquisa foram escolhidos termos nas buscas nas bases que conseguissem englobar o maior número de trabalhos possíveis. As palavras-chaves que geraram produções mais relevantes para o tema foram as seguintes: “mortars AND vermiculite”, “thermal AND mortars” e vermiculite AND containing AND mortar”. Para as mesmas bases ainda se utilizou as palavras chaves no idioma português: “argamassa AND vermiculita”, “argamassa contendo vermiculita” e “argamassa AND térmica”.

Para a seleção dos artigos que mais se encaixavam na pesquisa foram feitas análises: primeiramente foi analisado se o título e o resumo do artigo tinham relação com a pesquisa e o ano de publicação, em seguida foi identificado se o artigo em sua realização apresentava em seus resultados análise das propriedades da argamassa.

Após realizado o levantamento dos dados e informações obtidas na fase de planejamento e na aplicação da metodologia, foi possível realizar as considerações a respeito das argamassas contendo vermiculita e sua inferência nas propriedades da argamassa.

Os principais resultados após a aplicação da metodologia foram elencados e agrupados sistematicamente, para se obter uma visão do levantamento da pesquisa. Foram encontrados um total de 3009 artigos relativos ao tema “mortar with vermiculite”, entre as 5 bases de dados. O maior percentual de artigos utilizados para esta pesquisa foi de publicações internacionais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

No Quadro 8 são apresentados o número de publicações que foram encontradas por base de dados para a extração de artigos.

Quadro 8 - Publicações encontradas por base de dados.

Base de dados	Publicações disponíveis sobre o tema	Publicações selecionadas por estreiteza com o tema e ano de publicação	Publicações em que se realizou análise das propriedades
Engineering Village	53	18	5
Scopus	67	38	5
Science direct	2835	35	8
Web of Science	48	2	3
SciELO	6	3	3

Embora o quadro acima ter gerado 24 publicações pertinentes após a metodologia de filtragem ser aplicada, as bases de dados possuem muitas interseções de publicações, ou seja, foram gerados artigos repetidos entre as bases. Além disso, desse volume total de publicações grande parte apresentava-se irrelevante, por algum motivo desconhecido a base Science Direct gerou muitas publicações sem relação alguma com o tema. Ao final 11 artigos foram selecionados para serem analisados. No Quadro 9 são apresentadas as referências selecionadas para análise separados por sua natureza de pesquisa, ano de publicação, norma aplicada e país de origem:

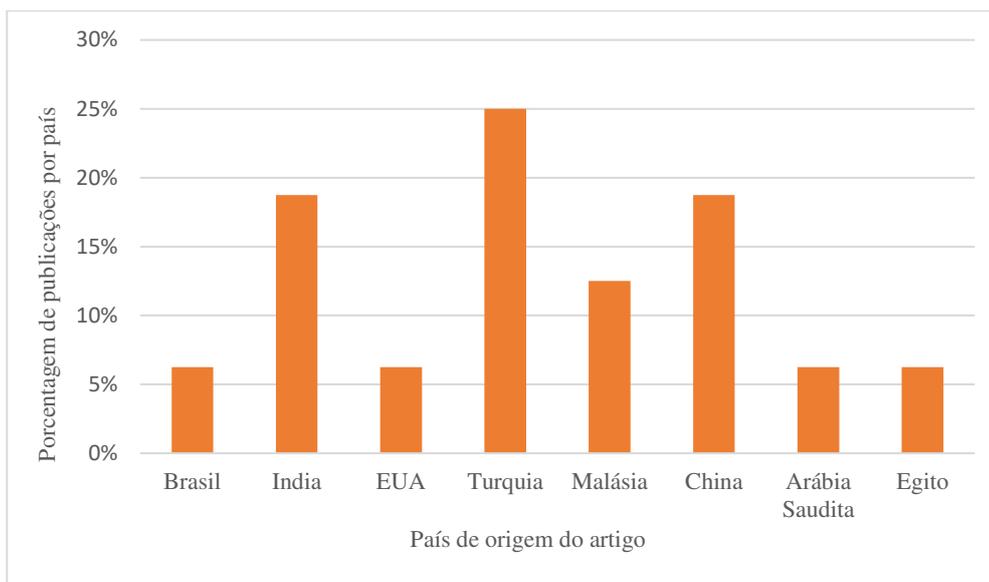
Quadro 9 - Artigos selecionados para serem analisados, separados por natureza, ano, método empregada e país de origem.

Referência	Natureza	ano	Método/ Norma	país
Benli et al.	Numérico	2020	EFNARC (Reino Unido)	Turquia

			ASTM C1708/ C1708M-16 ASTM C109 ASTM C348 ASTM C642 ASTM C1585 (EUA)	
RASHAD, A.M .	Analítico	2016	Estudo de literatura	Egito
W.A. Al-Awsh, <i>et al.</i>	Numérico	2020	ASTM C-177 (EUA)	Arábia Saudita
K.H. Mo <i>et al.</i>	Numérico	2018	ASTM C1437- 15 (EUA) BS EN 12390-3: 2009 (INGLATERRA)	China/Malásia/Índia
T. S. TIE <i>et al.</i>	Numérico	2020	BS EN 933-1: 2002 BS EN 1097-6: 2013 BS EN 1015-3: 1999 BS EN 12390-3: 2002 (INGLATERRA)	Malásia/Índia/ China
F. Koksal <i>et al.</i>	Numérico	2015	TS EN 197-1 (Turquia)	Turquia
C. L. D. Cintra <i>et al.</i>	Numérico	2014	NBR 13279 NBR 14082 NBR 13278 NBR 13280 NBR 7215 NBR 13276 NBR 13277 NBR 13528 NBR 13281 NM 43 NM 65	Brasil

			(Brasil)	
F. Koksal <i>et al.</i>	Numérico	2020	TS EN 197-1 TS EN 12390-3 TS EN 12390-5 (Turquia) EN 1015-3 (Europa)	Turquia
Lutfullah GUNDUZ; Sevket Onur KALKAN; A. Munir ISKER;	Numérico	2019	TS 825-2013 TS EN 998-1 2011 TS EN ISO 6946 TS EN ISO 6946 2017 (Turquia)	Turquia
L. T. Innocent V. Ramalingam	Numérico	2019	ASTM C31 ASTM C39 (EUA)	India/EUA
B. Xu <i>et al.</i>	Numérico	2015	ASTM C 349 ASTM C 348 (EUA)	China

De acordo com o quadro 9, foram reunidos os artigos mais pertinentes para o tema. Pôde-se observar ainda que os lugares no mundo que retornou o maior percentual de artigos relevantes foram Índia, China e Turquia (gráfico 1), e apesar de ser uma amostra de publicações muito pequena quando contrastado com o volume de publicações que as bases geraram não é totalmente incoerente quando comparado com a produção mundial de vermiculita.

Gráfico 1 – Porcentagem de publicações por país de origem.

Fonte: Autoria própria (2020).

O aparecimento de países como a Turquia pode estar relacionado com o fato de que a Turquia já chegou a importar cerca de (69%) da produção mundial dessa matéria-prima e a Índia é detentora de cerca de 2,45% da produção mundial de vermiculita (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009; RASHAD, 2016).

Durante a análise ficou perceptível que os artigos possuem abordagens diferentes sobre o tema argamassa contendo vermiculita, seja nos ensaios que foram realizados ou sobre alguns resultados acerca das propriedades encontradas e os fatores que influenciaram esses resultados. De acordo com a quadro 9, notou-se que foram aplicados diversos processos normativos de vários países, como a normas da Turquia (TS EN), normas americanas (ASTM), normas brasileiras (NBR) e algumas normas europeias (BS EM).

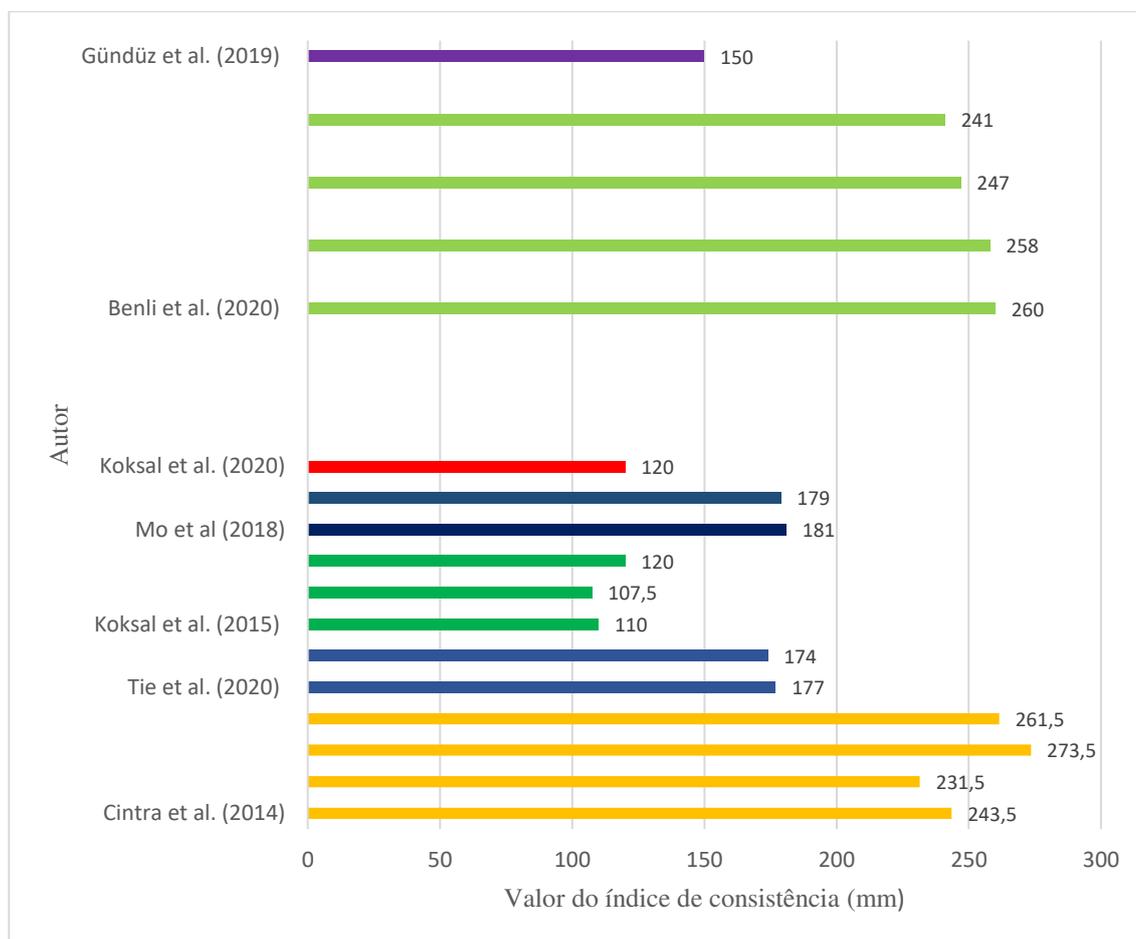
Como explicitado pelo número de artigos selecionados a literatura sobre as misturas de argamassas contendo vermiculita expandida ainda é um assunto pouco investigado. Desse modo, serão coletadas as informações dos autores selecionados sobre as diversas propriedades encontradas nas argamassas produzidas com a vermiculita no estado fresco e endurecido.

5.2. ANÁLISE DA LITERATURA

5.2.1. TRABALHABILIDADE

No Gráfico 2 estão apresentados os valores de espalhamento das argamassas estudadas por vários autores. É possível observar que o menor valor alcançado foi de aproximadamente 107,5 mm (KOKSAL et al.;2015) e o maior foi de 273,5 mm (CINTRA et al.;2014). A norma, NBR 13279:2005 prevê como um índice adequado para manter a trabalhabilidade valores de espalhamento próximo a 250 mm.

Gráfico 2- Valores encontrados no ensaio de consistência pelos diversos autores.



Fonte: Autoria própria (2020).

Como a consistência está diretamente relacionada com a quantidade de água, em (KOKSAL et al.;2015) o valor baixo pode ser atribuído a baixa relação água/ cimento (0,68), além disso o autor cita que os valores de espalhamento foram aumentando a medida que aumentou o incremento de vermiculita/cimento na mistura, e o apresentado foi obtido para a amostra que continha menor incremento. Enquanto que Cintra *et al.*(2014), afirma que para esse valor de espalhamento foi utilizado o maior incremento

de vermiculita (40%), a relação água/cimento utilizada nessa amostra foi de 3,2, cerca de 4,7 vezes maior que aquela utilizada por (KOKSAL et al.;2015).

Rashad (2016), em sua revisão na literatura também relatou que a trabalhabilidade das argamassas aumentou com o acréscimo de vermiculita expandida na mistura e atribui que essa característica provavelmente está associada ao aumento de ar na mistura com o incremento de vermiculita que é um material poroso.

Por outro lado, Tie *et al.* (2020) relatou em sua pesquisa utilizando agregados leves como vermiculita expandida (EV) em substituições de 50% e 100% de areia das argamassas que a perlita expandida influenciou positivamente no escoamento da argamassa encontrando na faixa de (215–243 mm) para o ensaio similar ao de mesa de consistência, enquanto que nas misturas contendo vermiculita expandida esse valor foi correspondente a (149–195 mm), esse menor diâmetro de escoamento pode ser explicado pela insuficiência de água adicionada a mistura com base na absorção de água da vermiculita expandida que é alta, esse fator é uma das principais causas de baixa trabalhabilidade nas misturas contendo vermiculita expandida.

Devido a isso, Koksál et al. (2015) sugere embeber a vermiculita expandida em água por um período mais longo de pelo menos 1 hora ou 24 horas antes da mistura ser realizada, para garantir que durante a mistura a vermiculita esteja saturada, em sua pesquisa é relatado um aumento na trabalhabilidade das misturas a medida que aumenta também a relação EV/ cimento de 4/1 para 6/1 e 8/1, o aumento no escoamento foi de 6,7% e 23,8%.

Isto também explica a trabalhabilidade ter melhorado em Mo et al (2018), quando a vermiculita substituiu a areia em níveis de 30% e 60%, obteve-se consistência melhorada em comparação com a argamassa sem vermiculita expandida, os valores obtidas para diâmetro de escoamento foi de (181mm - 179mm) o que representou um aumento de cerca de 11% em comparação a argamassa de controle que não continha vermiculita expandida. Ademais, segundo o mesmo diâmetro de fluxo acima de 175mm para argamassas já é considerado satisfatório.

Além disso, foi observado em Tie *et al* (2020), que quando utilizado a vermiculita expandida juntamente com escória de alto forno moída e granulada a trabalhabilidade pode ser diminuída. Obteve-se diâmetro de fluxo de 194mm para a mistura com 50% de

substituição do agregado pela vermiculita e com 35% de escória de alto forno em substituição do cimento enquanto que para a mistura que não continha vermiculita mas apenas substituição de 35% do cimento por escória de alto forno o valor foi de 201mm.

Com as cinzas volantes o mesmo acontece, quando substituiu em taxa de 25% do cimento para a mistura contendo 50% de VE o diâmetro de fluxo foi de 192mm e 200mm para a que não continha VE mas apenas cinzas volantes em 25%, ou seja, a trabalhabilidade foi reduzida mas próxima ao valor das misturas que não continham vermiculita expandida (TIE *et al*, 2020).

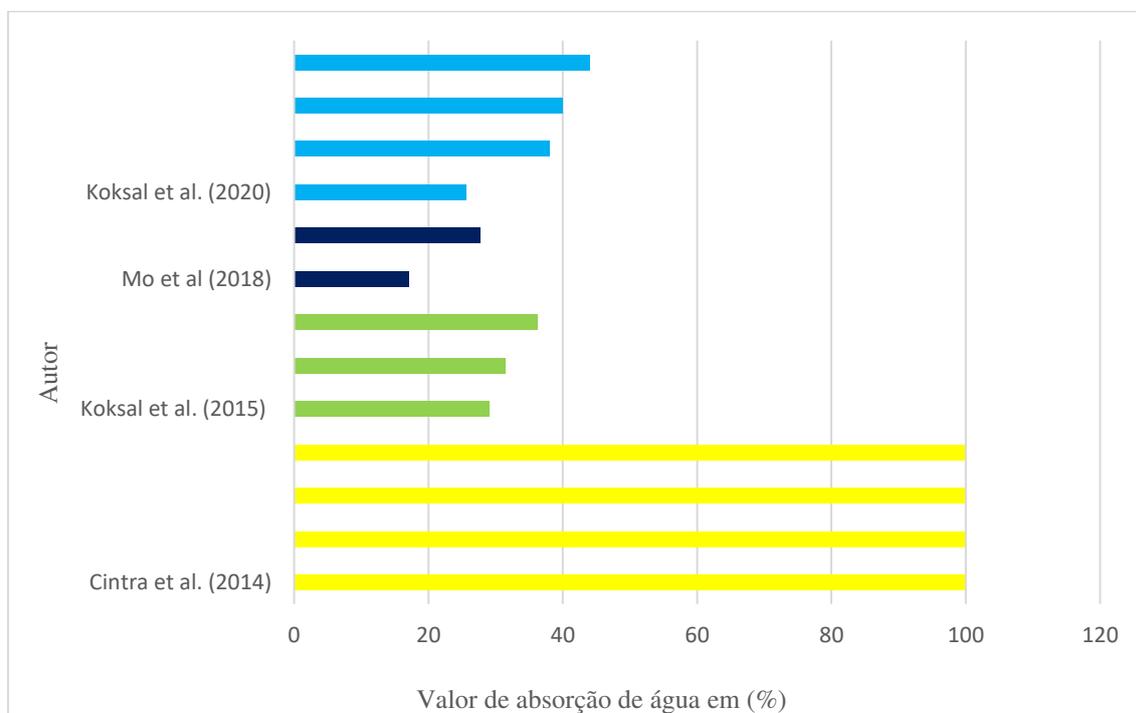
Cintra *et al.* (2014), em seus experimentos de argamassa de revestimento com vermiculita e contendo agregados de borracha, relata que os fatores que influenciam a trabalhabilidade da argamassa é o teor de ar incorporado, pois quando mais leve for a argamassa maior será a trabalhabilidade e o tempo em que a mesma se mantém trabalhável e que essa redução no peso possibilita menos esforço durante a aplicação dessa argamassa o que irá aumentar a produtividade, obteve-se no ensaio de consistência diâmetros de fluxo de 243,5mm – 273,5mm para os teores de 20% a 40% de vermiculita.

Pelos estudos citados acima pode-se concluir que de um modo geral a vermiculita expandida provocou o aumento na trabalhabilidade das misturas e medida que houve incremento essa trabalhabilidade foi mais notória ainda, em relação ao estudo em que obteve-se baixa consistência da mistura este fato pode ser explicado pela baixa relação água/cimento utilizada.

5.2.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA E POROSIDADE

Cintra *et al.* (2014), no ensaio de absorção de água obteve os maiores índices em %, como mostrado no gráfico 3, as 4 argamassas estudadas apresentaram absorção de água (> 90%), a retenção de água aumentou com o aumento do conteúdo de vermiculita na mistura, isto é, quanto maior o percentual de vermiculita, maior o percentual de retenção de água.

Gráfico 3 - Valores de absorção de água encontrado pelos autores.



Fonte: Autoria própria (2020).

Além disso, é possível observar no gráfico que em Mo *et al.* (2018) os valores foram os menores obtidos para absorção de água, um fator que pode ter sido preponderante além do maior incremento de vermiculita é que a finura estabelecida para o agregado miúdo neste experimento foi inferior ou igual a 2,36mm o que pode ter gerado um maior empacotamento da mistura por preenchimento dos vazios, reduzindo assim a sua capacidade de absorção de água. Enquanto que em Cintra *et al.* (2014) a granulometria foi maior, cerca de 2,56mm, esse também pode ser um fator que explique a discrepância entre os dois resultados.

Ainda em Cintra *et al.* (2014), as suas amostras contendo teores de 20%, 12%, 40% e 34% de vermiculita, apresentaram alta capacidade de retenção de água em 99,91%, 99,94%, 99,89% e 99,90%, respectivamente. Como observado, quanto maior a proporção de vermiculita maior foi a retenção de água, esse resultado é importante pois a argamassa que não apresenta capacidade de retenção adequada podem ter as reações de hidratação

do cimento e carbonatação da cal se for uma argamassa mista, prejudicados, dessa maneira a qualidade do revestimento poderá ser comprometida.

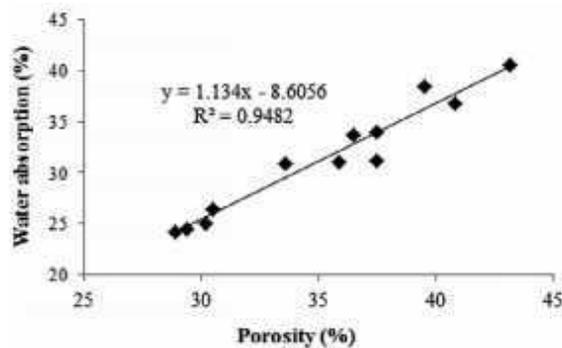
Koksal *et al.*, (2015), relatou que houve um aumento na porosidade nas amostras contendo vermiculita expandida, esse aumento na porosidade foi proporcional ao incremento das relações VE/ cimento de 4/1 para 6/1 e 8/1, o aumento na porosidade foi de 5,3% e 15,2% e a absorção de água aumento de 12,9% para 19,4%, respectivamente. Como pode perceber, quanto maior foi a quantidade de vermiculita expandida na mistura maior foi a porosidade da amostra, desse modo, maior também foi a absorção de água, isso pode ser explicado devido à natureza porosa da vermiculita. O autor ainda afirma que existe uma forte relação entre porosidade e absorção de água e peso unitário.

Nos ensaios de Mo *et al.* (2018), apesar de serem os menores valores de absorção observados, foram superiores nas argamassas contendo vermiculita quando comparado com a de controle, quando o nível de substituição foi de 30% e 60% da areia os valores obtidos para absorção inicial foi de 14,17% e 22,42% e final de 17,09% e 27,70%, respectivamente (tabela 3, apêndice). Enquanto que nas argamassas de controle sem vermiculita expandida quando a relação água/cimento foi de 0.52 obteve-se para absorção inicial 6,31% e 9,45% para absorção final, enquanto que quando a relação água/cimento foi de 0.71 o valor de absorção inicial foi de 7,96% e final de 8,97%. Esses valores também indicam que a absorção de água de argamassas de vermiculita expandida provavelmente é devido à natureza porosa.

Além disto, ainda segundo Mo *et al.* (2018), a vermiculita que foi utilizada possuía partículas finas que ainda assim mais grossa do que a areia fina de rio a qual substituiu, a moldagem das argamassas pode ser menos eficaz, sendo assim essas argamassas manifestarão maior quantidade de água absorvida.

Em Koksal *et al.*, (2015), pôde-se observar que existe uma forte correlação entre a absorção de água e a porosidade (figura 6) , definida por uma função de 1º e obtendo como coeficiente de determinação $R^2 = 0,9482$ para as argamassas contendo vermiculita e adição de sílica ativa.

Figura 5 - Gráfico da relação entre a absorção de água e porosidade das argamassas (porosidade no eixo X e absorção de água em Y).



Fonte: Koksall et al., (2015).

Koksall et al., (2020), nos seus estudos sobre argamassas de isolamento produzidas com vermiculita expandida e resíduos de poliestireno expandido, observou um aumento na absorção das argamassas (à medida que aumentou a proporção de vermiculita + poliestireno / cimento) como a proporção de (vermiculita + poli estireno / aumento de cimento). As argamassas contendo vermiculita obtiveram maior valores de absorção diferentes dos das argamassas contendo poliestireno, apesar de que a vermiculita possui absorção praticamente igual à do poliestireno, porém o poliestireno não absorve tanto devido ao polímero possuir microestrutura celular fechada.

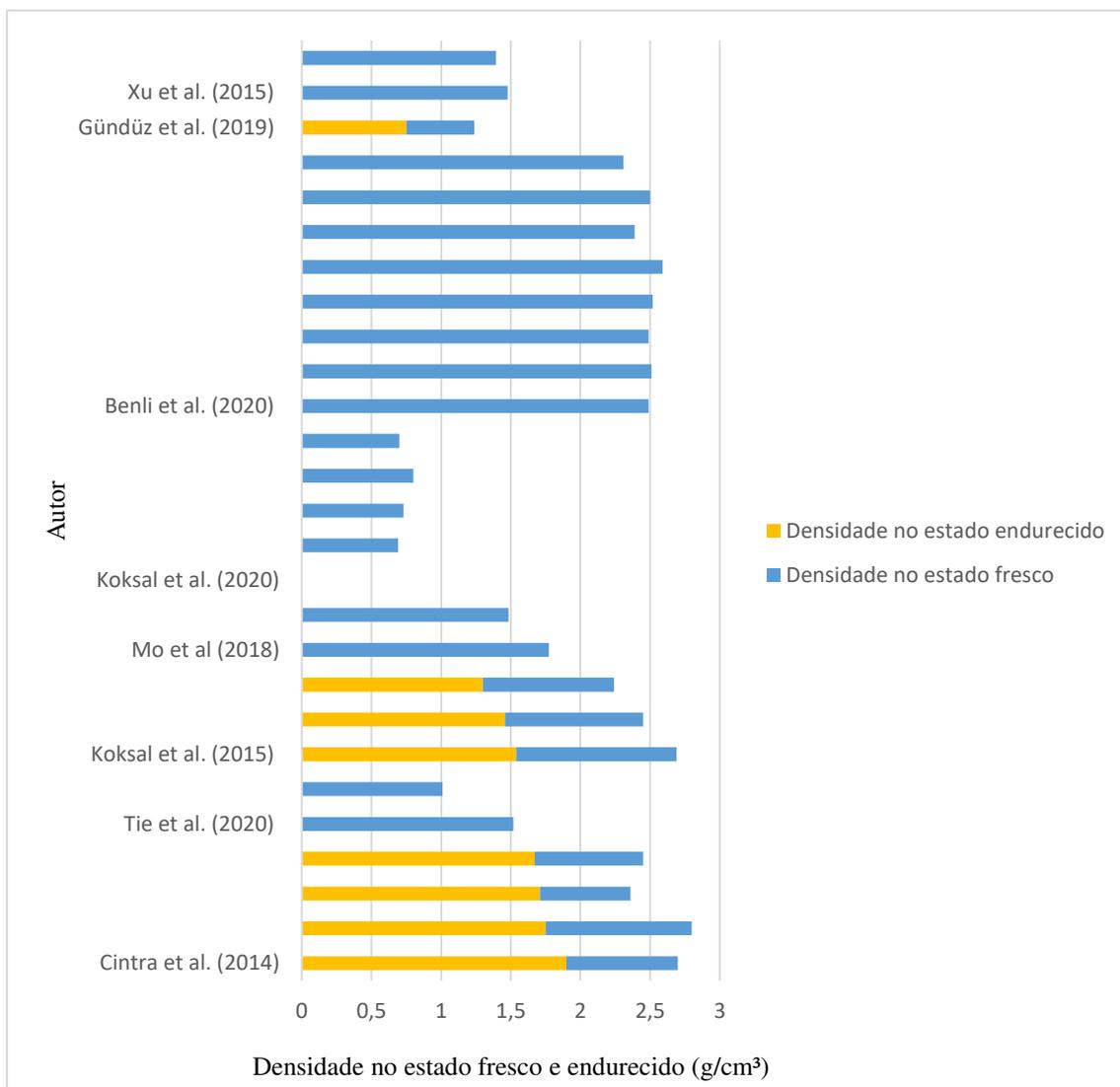
De acordo com o supracitado, pode-se destacar que em geral as argamassas que possuem vermiculita em sua mistura são mais permeáveis do que as convencionais, isso pode ser atribuído a natureza porosa de suas partículas, conseqüentemente foram as que mais absorveram água, além disso nota-se que a proporção que foi aumentado o conteúdo de VE nas amostras essas propriedades foram intensificadas.

5.2.3. DENSIDADE DE MASSA

No gráfico 4 são exibidos os valores obtidos das densidades experimental e densidade aparente das argamassas, alguns valores representam a média obtida para diversas amostras de mesmo conteúdo de vermiculita. Como pode-se observar, Benli *et al.*, (2020) apresentam os menores valores de densidade de massa, o autor atribui a tendência

decrecente da densidade com o incremento do conteúdo de vermiculita e explica que isso ocorre devido as partículas de vermiculita possuírem baixa gravidade específica ou densidade aparente.

Gráfico 4 - Densidade aparente e experimental obtidas pelos autores.



Fonte: Autoria própria (2020). *Observação: Alguns valores utilizados foram as médias de resultados obtidos para amostras de mesmo conteúdo de vermiculita;

Enquanto que em Cintra *et al.* (2014), as densidades foram superiores aos demais nos teores de 20% e 12% de vermiculita, esse resultado já era esperado pois essas amostras continham proporções de borracha em suas misturas que possui densidade muito superior comparado com a vermiculita cerca de $0,86\text{g/cm}^3$, enquanto que a vermiculita esfoliada é de $0,23\text{g/cm}^3$.

Koksal et al. (2015), descreveu que houve redução no peso unitário das argamassas frescas com conteúdo de VE de granulometria entre (0,075-4 mm), a redução no peso foi acentuada à proporção que houve incremento na razão VE/aglomerante. Observou uma redução de 5,3% no peso unitário das argamassas frescas quando a relação VE/ cimento passou de 4/1 para 6/1 e redução de 16,1% quando a relação passou de 6/1 para 8/1. A redução das amostras no estado endurecido aos 28 dias foram ainda maior, 15,6% e 29,3% quando a razão EV / cimento aumentou de 4/1 a 6/1 e 8/1, isto pode ser explicado pela perda de água do corpo de prova aos 28 dias. Esses números indicam que com o aumento do nível de substituição do agregado de areia natural por vermiculita provocou diminuição da densidade.

Ainda em conformidade com Koksal *et al.* (2015), o baixo peso unitário é uma característica desejada quando pretende obter a redução da carga morta das estruturas. Ademais, existe relação direta entre a baixa densidade e a condutividade térmica, os materiais com peso unitário baixo apresentam alto desempenho térmico, a vermiculita neste ensaio reduziu o peso unitário em até 30%, e obteve-se pesos unitário entre 780-473Kg/m³ para os diferentes teores de VE, atribui-se esse resultado ao fato de que a gravidade específica ou densidade aparente da vermiculita é muito inferior comparado aos outros materiais.

No ensaio de Gündüz *et al.*, (2019) sobre as propriedades térmicas com diversos agregados, concluiu-se que as argamassas que consistiam em agregados expandidos / esfoliados são materiais muito leves, a densidade obtida para as argamassa contendo vermiculita em 24% da mistura foram no estado fresco e endurecido, 750kg/m³ e 487kg/m³, respectivamente. O valor de densidade da amostra de controle foi de 1272kg/m³ no estado fresco e 1237kg/m³ no estado endurecido, de acordo com a norma utilizada para o experimento TS EN 998-1, uma argamassa para ser considerada leve deve possuir densidade endurecida menor que 1300 kg / m³. Portanto, quando comparado com este critério pode-se dizer que a argamassa contendo VE é leve e abaixo do valor padrão (701-975 kg / m³) da norma.

Xu *et al.*, (2015), na produção de suas amostras de compósitos à base de cimento substituiu a areia natural em argamassas por parafina / EV em níveis de 50% e 100%, por volume. As amostras contendo VE apresentarão valores de densidade reduzido em 20% e 24,67% quando comparadas com a amostra de controle na densidade aparente aos 28

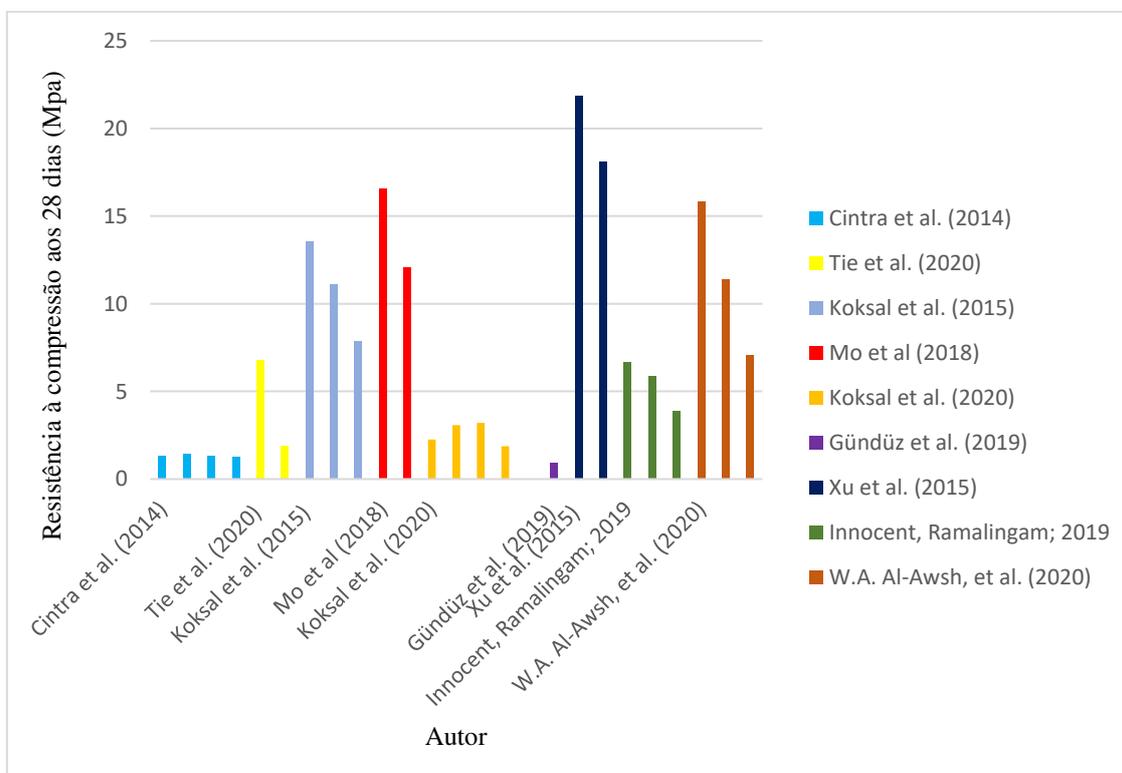
dias com a inclusão de 50% e 100% de parafina / EV, respectivamente. De acordo com o autor a amostra que possui 100% de substituição favoreceu a redução na densidade devido ao alto poder de absorvidade de água da vermiculita expandida.

Ao analisar os estudos, pode-se dizer que a inclusão da vermiculita expandida reduz o peso unitária das amostras e é intensificado à medida que aumenta o seu conteúdo. De acordo com os próprios autores citados, a razão para este fato decorre de que as partículas da vermiculita expandida dentro da mistura possuem baixa gravidade específica ou aparente, outro fator é que as amostras de misturas com inclusão de VE possuem estrutura porosa, reduzindo assim o seu peso unitário.

5.2.4. RESISTÊNCIA MECÂNICA

No gráfico têm-se os valores obtidos de resistência à compressão aos 28 dias, como é possível observar Xu *et al.*, (2015) obteve valores altos de resistência à compressão, esses valores expressivos podem ser atribuídos ao uso de sílica ativa na matriz que é uma adição pozolânica que confere maior resistência pois, apresenta uma microestrutura mais densa e fechada.

Gráfico 5 - Resistência à compressão aos 28 dias de cura obtido nos ensaios pelos autores.



Fonte: Autoria própria (2020). *Observação: Alguns valores utilizados foram as médias de resultados obtidos para amostras de mesmo conteúdo de vermiculita;

Apesar de apresentar valores de resistência à compressão altos quando comparado com os demais autores, Xu *et al.*, (2015) viu suas amostras aos 28 dias reduziram a resistência à compressão em 47,35% e 56,49% com a inclusão de 50% e 100% de parafina / VE, respectivamente.

Para obter uma argamassa com alta resistência é necessária uma pasta mais forte, agregados como a vermiculita não conferem essa propriedade suficiente para suportar cargas. Ademais, como mencionado em tópicos anteriores o uso de agregados como a vermiculita expandida nas argamassas têm como resultado uma grande porosidade, a relação entre essa propriedade e a resistência é direta, pois enquanto a porosidade cresce a resistência mecânica diminui. Koksall *et al.*, (2020) afirma que, não existe uma forte ligação entre a zona de interface da pasta de cimento com os agregados de vermiculita devido as suas estruturas “moles”.

Nas amostras de Koksall *et al.*, (2020), houve redução significativa na resistência à compressão aos 28 dias, enquanto aumentou a proporção vermiculita expandida/cimento de 4/1 para 6/1 a redução foi de 29,6%, a situação foi mais drástica quando a razão foi de 6/1 para 8/1, pois a resistência reduziu cerca de 53,6%. Os valores de resistência à compressão obtidos foram 12,5Mpa para a amostra de controle e 8,8Mpa e 5,8Mpa para as proporções de 1/6 e 1/8, respectivamente. Nesse estudo a sílica ativa foi utilizada como mineral da mistura e teve papel muito importante na resistência à compressão das argamassas.

Em Cintra *et al.* (2014), no ensaio de resistência à compressão o resultado nas 4 amostras variou entre 1,25Mpa e 1,44Mpa (tabela 3, apêndice) para diferentes teores de vermiculita expandida. Apesar dos valores de resistência serem baixos, eles satisfazem as condições da NBR 13281:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento e revestimento de paredes e tetos, de acordo com a norma classificam-se as resistências á compressão entre 0,1MPa e 4MPa como Tipo 1. Um ponto importante nesse estudo é que as argamassas foram formuladas em diferentes teores de ligantes (cimento + cal) propositalmente, com a intenção de compensar a perda de resistência mecânica causada pelo aumento dos teores de vermiculita.

O autor ainda afirma que como o objetivo da argamassa de revestimento não é de oferecer função estrutural, a resistência mecânica poderia ser considerada um parâmetro secundário. Entretanto, a resistência a aderência sob tração é uma característica

importante, pois quando há casos de manifestações patológicas que interferem no sistema, como fissuras nas argamassas e não há processo de recuperação, essas fissuras podem servir de caminho facilitador para a passagem de água e atingir a interface argamassa e substrato, que pode levar ao desprendimento desse revestimento da parede pela carência na aderência (CINTRA *et al.*, 2014).

Na mesma pesquisa, nos ensaios de resistência de aderência sob tração, todos os corpos de prova apresentaram ruptura na argamassa e as argamassas contendo apenas vermiculita apresentaram-se no limite mínimo exigido pela norma, desse modo as argamassas contendo apenas vermiculita são menos aderentes (CINTRA *et al.*, 2014).

Nos estudos de Gündüz *et al.*, (2019), obteve-se valores baixos para resistência à compressão (0,69-1,34Mpa), enquanto que a amostra de controle apresentou valor superior (3,19Mpa). Apesar desse fato, o padrão TS EN 998-1 recomenda que a resistência mínima à compressão seja 0,40Mpa para argamassas de isolamento térmico. Portanto, os valores obtidos seguem os padrões necessários. Xu *et al.*, (2015), substituiu o agregado natural por parafina/ VE em 50% e 100% do volume e também obteve redução na resistência à compressão aos 28 dias, para 50% de substituição houve redução de 47,35% e 56,49% com a substituição total de 100% de parafina / VE. Para a resistência a flexão a redução foi de 22,58% e 20,97%, para 50% e 100% de substituição do volume, respectivamente.

Assim, como nos outros experimentos em Mo *et al.* (2018), quando a VE foi utilizada com substituição parcial da areia, a resistência também caiu à medida que o nível de substituição aumentou, a redução encontrada nesse estudo foi de 50% e 63% em substituições de volume de 30% e 60%, respectivamente. Essa tendência de redução na resistência à compressão pode ser causada pela estrutura porosa e macia da vermiculita expandida. Como o agregado é mais fraco menor é a sua capacidade de fornecer força, e assim, podem ocorrer fissuras. O autor explica que a pouca quantidade de finos na vermiculita expandida podem gerar um empacotamento de partículas e isso afeta negativamente a resistência.

Tie *et al.* (2020) afirma que, quando a vermiculita expandida substituiu em 50% e 100% da areia, a resistência a compressão caiu drasticamente 80% e 94%, respectivamente, para os dois teores de substituição (tabela 3, apêndice) . O autor atribui este valor a baixa resistência inerente na VE, que contêm alta porosidade, além desse fator

o de que os agregados leves possuem maior finura o que lhe confere maior área de superfície, ou seja é necessário maior quantidade de pasta de cimento para revestir os agregados em comparação com a areia convencional.

Em Innocent e Ramalingam (2019) as partículas de vermiculita expandida leve foram misturadas com cimento na argamassa para formar corpos de prova de cimento-EV de proporções, 1: 0,5, 1: 1 e 1: 1,5 em massa (tabela 2, apêndice). Os resultados de resistência à compressão para 7 e 28 dias foram, 5,9Mpa; 5,5Mpa e 3,9Mpa e 6,7Mpa; 5,9Mpa e 3,9Mpa, respectivamente para 7 e 28 dias (tabela 3, apêndice). O resultado encontrado para a resistência da amostra de controle foi 28,5Mpa e 45Mpa para 7 e 28 dias, respectivamente. É possível observar que houve redução de até 91,3% da resistência, entretanto, as amostras contendo maior teor vermiculita atingiram mais rapidamente sua resistência. De acordo com o padrão indiano, padrão utilizado no ensaio, ISI 2185- , Unidades de alvenaria de concreto padrão indiano - Especificação, Parte I: Concreto oco e sólido Blocos, a resistência obtida para a proporção de cimento-EV 1: 1,5, é cerca de 2,5% menor que o mínimo exigido pela norma.

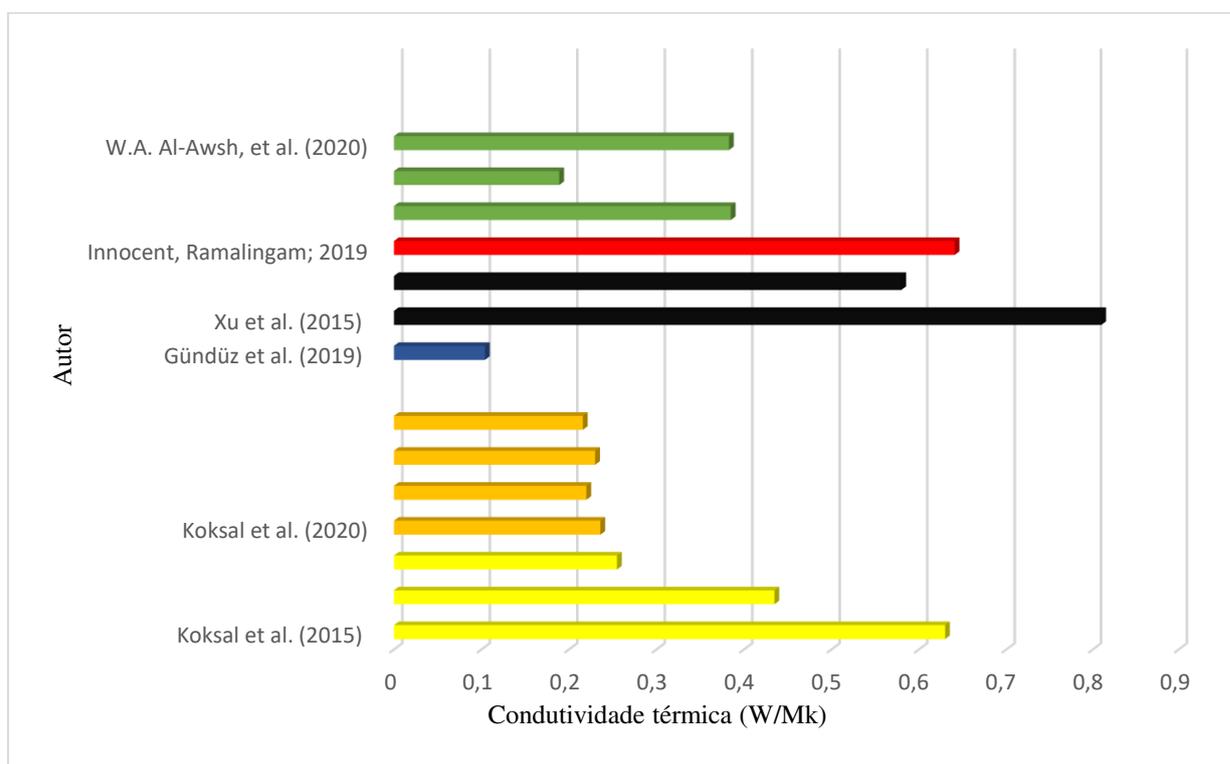
Benli *et al.*, (2020), descreve o comportamento das suas amostras utilizando vermiculita bruta (RVM) e vermiculita expandida (EVM) substituindo o cimento em taxas de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% (tabela 2, apêndice). Os resultados mostraram que à medida que aumentou o conteúdo de vermiculita bruta e vermiculita expandida nas amostras houve queda notável na resistência à compressão e flexão em todas as idades de cura (3, 28 e 90 dias), as resistências obtidas variaram entre 11,86Mpa e 78,21Mpa sendo a menor resistência à compressão observada para 20% de vermiculita expandida em 3 dias, as amostras de EVM mostraram-se mais resistentes a altas temperaturas do que Espécimes RVM.

A partir dos diversos estudos citados acima, é possível afirmar que no quesito resistência mecânica torna-se uma desvantagem a utilização da vermiculita expandida como agregado, pois, essa argamassa não pode ser utilizada para suportar grandes cargas. Entretanto, hoje em dia existe diversos aditivos no mercado que podem sanar ou amenizar o problema da resistência.

5.2.5. CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Gündüz *et al.*, (2019), obteve o menor valor de condutividade térmica para a amostra contendo vermiculita expandida de 0,104W/mK (gráfico 6), enquanto que a amostra de controle apresentou 0.326 W/mK, desse modo a argamassa produzida com vermiculita teve redução de 68,1% na condutividade térmica quando comparada com a amostra de controle.

Gráfico 6 - Condutividade térmica obtido nos ensaios pelos autores.



Fonte: Autoria própria (2020). *Observação: Alguns valores utilizados foram as médias de resultados obtidos para amostras de mesmo conteúdo de vermiculita;

Em outro experimento Xu *et al.*, (2015), na substituição de parafina/ vermiculita expandida em 50% e 100% por volume, obteve-se redução de 49,3% e 64% na condutividade térmica, respectivamente (tabela 3, apêndice). Apesar, de ter ocorrido reduções expressivas em seus experimentos, os valores de condutividade térmica ainda foram superiores quando comparados com os demais resultados, esse fato pode ser explicado pela utilização da parafina como composto de mudança de fase.

De acordo com o padrão TS EN 998-1 materiais com uma condutividade térmica inferior a 0,1 W / mK são classificados como classe T1 e os com condutividade térmica

entre 0,1 a 0,2 W / mK estão na classe T2, desse modo a argamassa contendo vermiculita classifica-se no grupo T2.

Na investigação experimental de W.A. Al-Awsh, *et al.* (2020), sobre parede de alvenaria inovadoras, descobriu-se que o desempenho térmico ideal com melhor custo benefício trata-se de uma parede de blocos tratados com escória vulcânica e 15% de argamassa tratada com vermiculita (10mm de espessura). Para esse modelo o desempenho térmico foi melhorado em 15% e 318% para aumentar a resistência térmica e 13% e 76% para reduzir o fluxo de calor quando comparado com a amostra de controle.

Nos ensaios W.A. Al-Awsh, *et al.* (2020), a vermiculita substituiu a areia em 5%,10% e 15% do volume, quando a argamassa foi tratada com 15% de vermiculita ao bloco tratado com escória vulcânica, houve uma redução no fluxo de calor em 75% e aumento da resistência térmica em 305% a mais que a amostra de controle.

Koksal *et al.* (2015), relatou queda na condutividade térmica nas amostras de argamassas de VE aos 28 dias, aumentando a razão vermiculita expandida/Cimento de 4/1 para 6/1 e 8/1 a redução na condutividade térmica foi 27,6% e 58,1%, respectivamente. Em outro estudo o mesmo autor (Koksal et al.;2020), notou que a condutividade térmica de suas amostras diminuiu quando o teor de vermiculita foi aumentado na relação vermiculita + poliestireno/ cimento, os valores variaram entre 0,09 a 0,445 W/mK (gráfico 6), neste experimento os compósitos de argamassa que incluíram poliestireno apresentaram resultados melhores para os coeficientes de condutividade térmica quando comparado com os de vermiculita, ou seja, apresentaram menor condutividade térmica. O motivo para isso estaria segundo o autor, na microestrutura com células fechadas do poliestireno e enquanto isso a vermiculita possui forma de flocos.

Enquanto que em (INNOCENT, RAMALINGAM; 2019), também houve redução acentuada na condutividade térmica das amostras de cimento- VE, na proporção 1:1,5 foi 0,189W/mK, para a argamassa de controle o valor foi de 0,946W/mK. O índice de desempenho térmico na mistura apresentou aumento de 56% e 71% nas proporções das argamassas para cimento-EV 1: 1 e 1: 1,5, respectivamente.

Pode-se afirmar que ao usar a vermiculita nas argamassas reduz a condutividade térmica, ou seja, otimiza sua capacidade de servir como isolante térmico. Ao que as pesquisas indicam o coeficiente de desempenho térmico relaciona-se com a porosidade

do material, a estrutura da vermiculita em lâminas faz com que absorva uma grande quantidade de ar em sua estrutura e quanto maior a porosidade menor o coeficiente de condutividade térmica.

A partir de análise dos experimentos estudados, é perceptível que os resultados para serem satisfatórios dependem das proporções de vermiculita inserida na argamassa, quando utilizada de maneira equilibrada, é capaz de oferecer conforto térmico para ser usado como envoltória de edificações leve, com resistência térmica. A vermiculita é uma boa solução tanto para o conforto térmico de ambientes quanto para a economia de energia.

5.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DA VERMICULITA

Na tabela abaixo foram agrupados uma consideração geral sobre as vantagens e desvantagens do uso da vermiculita analisadas pelos autores para cada propriedade estudada:

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens da utilização da vermiculita expandida de acordo com os autores por propriedade analisada.

Vantagens e desvantagens de utilizar a vermiculita expandida em argamassas de acordo com os autores		
propriedade	vantagem	desvantagem
trabalhabilidade	Cintra et al. (2014)	Tie et al. (2020)
	Koksal et al. (2015)	Benli et al. (2020)
	Mo et al (2018)	
Absorção de água	Cintra et al. (2014)	Koksal et al. (2020)
	Koksal et al. (2015)	Benli et al. (2020)
	Mo et al (2018)	
porosidade	Cintra et al. (2014)	Koksal et al. (2020)
		Koksal et al. (2015)
		Benli et al. (2020)
densidade	Cintra et al. (2014)	
	Tie et al. (2020)	
	Koksal et al. (2015)	
	Mo et al (2018)	
	Koksal et al. (2020)	
	Benli et al. (2020)	
	Gündüz et al. (2019)	
Xu et al. (2015)		
resistência à compressão	Cintra et al. (2014)	Tie et al. (2020)
		Mo et al (2018)

	Koksal et al. (2015)
	Koksal et al. (2020)
	Benli et al. (2020)
	Gündüz et al. (2019)
	Xu et al. (2015)
	Innocent, Ramalingam (2019)
	W.A. Al-Awsh, et al. (2020)

condutividade térmica	Koksal et al. (2015)
	Koksal et al. (2020)
	Gündüz et al. (2019)
	Xu et al. (2015)
	Innocent, Ramalingam (2019)
	W.A. Al-Awsh, et al. (2020)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão sistemática da literatura, as seguintes conclusões, podem ser elencadas:

- Apesar do uso da vermiculita apresentar-se como um material próspero no ambiente da construção civil e incorporado as argamassas, são poucas os artigos relacionados com o tema;
- De acordo com a maioria dos autores é vantajoso o uso da vermiculita expandida em relação a propriedade de trabalhabilidade, enquanto os que encontraram valores não satisfatórios para essa propriedade atribuíram como principal causa a baixa relação água/cimento adotada na pesquisa;
- Houve redução no peso unitário em todas argamassas que utilizaram vermiculita em sua matriz. Este fato se mostra promissor do ponto de vista que essas argamassas reduzem o peso estrutural;
- A porosidade e absorção de água, que são características que estão diretamente relacionadas, se mostraram desvantajosas quanto ao uso de vermiculita, devido a sua leveza e próprias características como agregado (estrutura porosa e em lâminas). A vermiculita tem alto poder absoritivo, aumentando a relação água/cimento necessários na mistura o que leva a queda na resistência mecânica;
- O efeito negativo da vermiculita na resistência à compressão das argamassas pode ser mitigado ou amenizado com uso de adições;
- Em relação as propriedades térmicas, todos os artigos apresentaram como vantajoso o uso da vermiculita expandida para aumento do isolamento térmico. Para todas as argamassas estudadas houve a redução nos valores de condutividade térmica.

Diante do que foi exposto neste trabalho percebe-se que há poucos artigos que investigaram o uso da vermiculita em argamassas. E uma das propriedades pouco explorada é a reologia destas em seu estado fresco. O uso da vermiculita expandida incorporada nas argamassas para se obter propriedades determinadas, apresenta-se como exequível para diversas aplicações, como revestimentos externos, produção de

argamassas leves, argamassa isolante térmico para melhoria do conforto térmico em regiões que sofrem com altas temperaturas, redução do consumo de energia.

REFERÊNCIAS

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

AL-AWSH, W.A. et al. **Experimental and numerical investigation on innovative masonry walls for industrial and residential buildings**. Applied Energy 276 (2020).

ALBUQUERQUE, L. M. C. **Reciclagem e estudo de reaproveitamento de resíduos cerâmicos de indústria de louça sanitária**. Recife: O Autor, 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2009.

ALCANTARA, P. S. X, NÓBREGA, A. C. V.; SILVA, G. A. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento utilizando resíduos de cerâmica vermelha e sua aplicabilidade no cotidiano de obras na construção civil**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 54°. Maceió. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro de Concreto, 2012.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. 2002. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Brasília, Brasília.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP) - **Manual de Revestimentos de Argamassa**. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **A Indústria do Cimento e o Desenvolvimento do Brasil**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/a-industria-documento-e-o-desenvolvimento-do-brasil/>. Maio de 2014. Acessado em outubro de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 15220-2:2008, Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 15220-4:2005**, **Desempenho térmico de edificações** - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 15220-5:2005**, **Desempenho térmico de edificações** - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 15.575:2013** - Edificações habitacionais - Desempenho.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 15220:2005** - **Desempenho térmico de edificações.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento: procedimento.** Rio de Janeiro, 2006a.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175: Cal hidratada para argamassas** - requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

BARROCA, P. A. G; NEPOMUCENA, M. C. S; OLIVEIRA, L.A.P. **Avaliação do desempenho de argamassas de revestimento com agregados leves artificiais e reciclados**. ICEUBI2015 - INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING 2015 – 2-4 Dec 2015 – University of Beira Interior – Covilhã, Portugal.

BARROS, Ilana Maria da Silva. **Análise térmica e mecânica de argamassas de revestimento com adição de vermiculita expandida em substituição ao agregado.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Natal, RN, 2018.

BAUER, F. **Materiais de Construção.** Vol 1. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BENLI, A. et al. **Mechanical characteristics of self-compacting mortars with raw and expanded vermiculite as partial cement replacement at elevated temperatures.** *Construction and Building Materials* 239 (2020).

BERNHOEFT, Luiz Fernando; GUSMAO, Alexandre Duarte and TAVARES, Yêda Vieira Póvoas. **Influência da adição de resíduo de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno.** *Ambient. constr. (Online)* [online]. 2011, vol.11, n.2, pp.189-199. ISSN 1678-8621.

BEUTHER, E. **Desenvolvimento de argamassas com adições porosas.** *Monografia – Curso de Engenharia de Infraestrutura.* Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015. 61 p

BORGES, J. C. S. **Compósito de poliuretano de mamona e vermiculita para isolamento térmica.** Natal/RN, 2009. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

CARASEK, H. “Argamassas”, in G. C. Isaia. (Org.), “**Materiais de Construção Civil**”, 1ª Ed., V. 1, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), S. Paulo, SP (2007) 863-904.

CARASEK, H. Argamassas. Capítulo 26. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2 ed. IBRACON, 2010. v.1 & v.2. p. 863-891.

CARVALHO, C. M. **Caracterização de resíduos da indústria cerâmica e seu emprego em argamassas de cimento Portland.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, 2016.

CARVALHO, C. M. **Caracterização de resíduos da indústria cerâmica e seu emprego em argamassas de cimento Portland.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, 2016.

CASTELLANO, C. C. BONAVENTTI, L.V. IRASSAR F. E. **The effect of w/b and temperature on the hydration and strength of blast furnace slag cements.** Construction and Building Materials, vol. 111, pages 679-688, 2016.

CHEN, B., N, LIU. **A novel lightweight concrete-fabrication and its thermal and mechanical properties.** Constr Build Mater 2013;44:691–8.

CINTRA, C. L. D. **Argamassa para revestimento com propriedades termoacústicas, produzida a partir de vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus.** Tese (Doutorado) –Programa de Pós– Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014. 154 p.

CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO BRASIL - CAU/BR. **Guia para arquitetos na aplicação da Norma de Desempenho.** 2015.

CUNHA, S. et al. **Classificação de argamassas com incorporação de materiais de mudança de fase com base nas suas propriedades físicas, mecânicas e térmicas.** A. revista Matéria, v.23, n.3, 2018.

DEMIBORGA R, Gül R. **The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete.** Cem Concr Res 2003;33(5):723–7.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf>. Acesso em agosto de 2020.

GOLUB, A.; SILVA, C. V. **Influência do uso de materiais alternativos em argamassa de revestimento interno:Avaliação quanto ao isolamento térmico.** PERSPECTIVA, Erechim. v. 41, n.154, p. 111-126, junho/2017.

GUNDUZ, L. KALKAN, S. O. **A technical evaluation on the determination of thermal comfort parametric properties of different originated expanded and exfoliated aggregates.** Arabian Journal of Geosciences (2019).

HINDMAN, J. R. (1994). **Vermiculite.** In: Industrial Minerals and Rocks, 6th Edition, D. D. Carr (Senior Editor), Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, p. 1103-1111.

INNOCENT, L. T., RAMALINGAM, V. **“Evaluation of Thermal Properties of Cement-Exfoliated Vermiculite Blocks as Energy Efficient Building Envelope Material”.** Journal of Testing and Evaluation 47, no. 5 (September/October 2019): 3480–3495.

KADRI E., KENAI, S. EZZIANE, K. SIDDIQUE, R. SCHUTTER, DE G. **Influence of metakaolin and silica fume on the heat of hydration and compressive strength development of mortar.** Applied Clay Science, vol 53, pages 704-708, 2011.

KALIL, S. B.; LEGGERINI, M., R. **Estruturas Mistas – Concreto Armado X Alvenaria Estrutural.** Curso de Graduação. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.

KIMBAL, M. S., **Mineral commodity summaries 2016,** Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2016, pp. 1–1202, Disponível em: < <https://www.usgs.gov/centers/nmic/mineral-commodity-summaries> > Acesso em outubro de 2020.

KOKSAL, F. et al. **Characteristics of isolation mortars produced with expanded vermiculite and waste expanded polystyrene.** Construction and Building Materials 236 (2020) 117789.

KOKSAL, F. et al. **Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures.** Construction and Building Materials 88 (2015) 175–187.

KOKSAL, F., GENCEL, O. KAYA, M. **Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures.** Construction and Building Materials, 2015.

KURZ, M. N. *et al* . **A potencialidade do uso de resíduo de borracha de pneu em argamassa: análise das propriedades físicas e mecânicas.** S. revista Matéria, v.23, n.3, 2018.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na Arquitetura.**3ed – Eletrobras/Procel, 2014.

LEGGERINI, M. R. C.; AURICH, M. Capítulo IV - **Argamassa de revestimento.** In: **Notas de aula: Materiais Técnicas e Estruturas I.** [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - Faculdade de Arquitetura, 2011.

LOURENCI, Sidnei – **Caracterização de argamassas de revestimento fabricadas com materiais alternativos.** Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Tecnológicas, 2003. Dissertação de Mestrado.

LUZ, A. B.(Ed.); LINS, F. A. F.(Ed). **Rochas & minerais Industriais: usos e especificações.** 2.Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 990p.

MACIEL,L. L. BARROS, M. M. S.B. SABBATINI, F.H. **Recomendações para execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos.** Projeto EPUSP/SENAI, São Paulo,1998.

MARTINS, P. B. M. **Influência da granulometria agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto.** UEFS, 2008, p. 16, 28.

MAYCÁ, J.; CREMONINI, R. A.; RECENA, F. A. **Contribuição ao Estudo da Argila Expandida Nacional Como Alternativa de Agregado Graúdo Para Concretos Leves Estruturais (CLE).** Trabalho apresentado no Curso de Especialização em Construção Civil 2006/2008 - NORIE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** IBRACON. 2008. Propriedades e Materiais, IBRACON, 2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Relatório técnico 48. **Perfil da vermiculita**. Agosto de 2009.

Mo, K.H. et al. **Incorporation of expanded vermiculite lightweight aggregate in cement mortar**. Construction and Building Materials 179 (2018) 302–306.

MOURA, C. B. **Aplicação de isolamento térmico pelo exterior tipo ETICS associado a revestimento cerâmico**. 2012. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2012.

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto**; tradução: Ruy Alberto Cremmonini. – 2. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

NOGUEIRA M. C. J. A.; NOGUIERA, J. S. **Educação, meio ambiente e conforto térmico: caminhos que se cruzam**. Revista do Mestrado em Educação Ambiental, vol. 10, 2003. p 104- 108.

NTC BRASIL. **Vermiculita expandida**. Disponível em:<<http://www.ntcbrasil.com.br/outros/vermiculita-expandida/>>. Acesso em 6 out. 2020.

PCZIECZEK, A. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis**. UDESC, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade do Estado de Santa Catarina.

PESSATTO, V.G.M. **Estudo das argamassas e revestimentos contendo vermiculita**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005. 212 p.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D. ;SANTOS, S. P. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. USP – EESC – Dep. Eng. de Estruturas, 2004.

RASHAD, A.M.. **Vermiculite as a construction material – A short guide for Civil Engineer**. Construction and Building Materials 125 (2016) 53–62.

REFRÁTIL. **Vermiculita Expandida**. Disponível em:< <http://www.refratil.com.br/produto/vermiculitaexpandida>>. Acesso em 6 out. 2020.

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

RIBEIRO, A. V. S., et al. **Influência de adições minerais nas propriedades da argamassa**. 60º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON. 2018.

ROMAN, H. R. **Revestimentos de Argamassa**. Florianópolis, 2014. 19 slides, color.

SANTOS, C. A. P., MATIAS, L. **Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios**. 1 ed. – Portugal, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.

SANTOS, Heraldo Barbosa dos. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. 2008. 50f. Monografia (Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SCHACKOW, A. et al. **Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agente**. *Construction and Building Materials* 57 (2014) 190–197.

SILVA, I. C. R. **Caracterização e utilização da vermiculita expandida como barreira térmica**. Trabalho de conclusão de curso. Belo Horizonte. 2016.

SILVA, Juliana Carvalho. **Aproveitamento do Lodo da Estação de Tratamento de Efluentes de Indústria Cerâmica na Composição de Massa Cerâmica para Produção de Louças Sanitárias**. UFPE, 2008, p. 12. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

SINHORELLI, K. S. **Estudo das propriedades reológicas e térmicas de argamassas de revestimento contendo adições minerais e vermiculita**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa, 2019.

SOUSA, A. J. C. **Aplicação de argamassas leves de reboco e assentamento em alvenarias.** 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2010.

SOUSA, V. A. L. **Estudo do comportamento de materiais não convencionais utilizados como revestimento de paredes, visando à redução de carga térmica.** Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Produção. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.129 p.

SUVOROV, S.A. Skurikhin, V.V. **Vermiculite – a promising material for hightemperature heat insulation,** Refract. Ind. Ceram 44 (3) (2003) 186–193.

TIE, T. S., Kim Hung Mo , U. Johnson Alengaram , Senthil Kumar Kaliyavaradhan & Tung-Chai Ling (2020): **Study on the use of lightweight expanded perlite and vermiculite aggregates in blended cement mortars.** European Journal of Environmental and Civil Engineering, DOI: 10.1080/19648189.2020.1806934.

TORGAL, F.P., Gomes, J.P. de C., Jalali, S. **Argamassas Antigas: Reacção Pozolânica ou Activação Alcalina?.** 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção – “Sob a Égide da Reabilitação”, APFAC, Lisboa, 2007.

TRINDADE, G. H. **Durabilidade do Concreto Com Cinza de Casca de Arroz Natural Sem Moagem: mitigação da reação álcali-sílica e penetração de cloretos.** 198 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

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

UNAL O., UYGUNOGLU, T., YILDIZ, A. **Investigation of properties of low-strength lightweight concrete for thermal insulation.** Build Environ 2007;42(2):584–90.

VIEIRA, A. A. P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concreto.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, 2002.

XU, B. et al. **Paraffin/expanded vermiculite composite phase change material as aggregate for developing lightweight thermal energy.** Applied Energy 160 (2015) 358–367 storage cement-based composites.

APÊNDICE

Nesse capítulo será fornecido tabelas com maior detalhamento numérico dos dados coletados nos artigos analisados.

Tabela 2 - Tabela geral com os traços ou proporções utilizadas nos ensaios pelos autores, razão água cimento e o tipo de uso da vermiculita.

Referência	Traço	razão água/cimento	Proporção/teor de vermiculita em %	Tipo de uso da vermiculita
Cintra <i>et al.</i> (2014)	1:0,6:2,4	2	20%	Usado como agregado em substituição parcial da areia
	1:0,33:2,01	1,33	12%	
	1:0,8:2,12	3,2	40%	
	1:0,75:3,27	3,5	34%	
Rashad (2016)	-	-	-	-
Tie <i>et al.</i> (2020)	1,0:3,0	2	50%	Usado como agregado em substituição parcial e total
			100%	
Koksal <i>et al.</i> (2015)	1,0:4,0	0,68	100%	Usado como agregado da mistura no lugar da areia
	1,0:6,0	0,85		
	1,0:8,0	1,2		
Mo <i>et al.</i> (2018)	1,0:1,80	0,52	30%	Usado como agregado em substituição parcial da areia
	1,0:1,03		60%	
Koksal <i>et al.</i> (2020)	1,0:3,0	2,16	25%	Substituição parcial e total do poliestireno - utilizado como agregado
		2,57	50%	
		2,92	75%	
		2,19	100%	
		2,96	25%	
	1,0:4,0	3,25	50%	
		2,55	75%	
		2,81	100%	
		1,66	25%	
	1,0:5,0	2,69	50%	
		2,55	75%	
		3,58	100%	
		2,2	25%	
		2,57	50%	
	1,0:6,0	3,47	75%	
3,52		100%		
1,97		25%		
2,63		50%		
1,0:7,0	2,45	75%		
	3,12	100%		
Benli <i>et al.</i> (2020)	1,0:2,05	0,41	5%	Substituição parcial do cimento - usado como aditivo mineral no estado bruto e expandido
	1,0:2,0	0,42	10%	
	1,0:1,93	0,44		
	1,0:1,9	0,44	15%	
	1,0:1,79	0,47		
	1,0:1,59	0,49		
	1,0:1,4	0,51	20%	
1,0:1,2	0,54			
Gündüz <i>et al.</i> (2019)	1:0,24:1,26:0,8:0,026	2,48	24%	Utilizado como agregado leve no lugar da areia
Xu <i>et al.</i> (2015)	1,0:0,25:2,36	0,44	50%	Substituição parcial e total da areia
	1,0:0,25:2,85		100%	
Innocent, Ramalingam; 2019	1,0:0,5	-	100%	Utilizado como único agregado da mistura no lugar da areia
	1,0:1,0			
	1,0:1,5			
W.A. Al-Awsh, <i>et al.</i> (2020)	1,0:0,42	1,4	5%	usado como agregado em substituição parcial da areia
	1,0:2,29	1,73	10%	
	1,0:1,98	1,9	15%	

