



VINICIUS DOS SANTOS RIBEIRO

**DESEMPENHO DE TIJOLOS SOLO CIMENTO
PRODUZIDOS COM FIBRA DE VIDRO E VERMICULITA**

LAVRAS – MG

2020

VINICIUS DOS SANTOS RIBEIRO

**DESEMPENHO DE TIJOLOS SOLO CIMENTO PRODUZIDOS COM FIBRA DE
VIDRO E VERMICULITA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Materiais, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

LAVRAS – MG

2020

VINICIUS DOS SANTOS RIBEIRO

**DESEMPENHO DE TIJOLOS SOLO CIMENTO PRODUZIDOS COM FIBRA
DE VIDRO E VERMICULITA**

**PERFORMANCE OF SOIL CEMENT BRICKS PRODUCED WITH GLASS
FIBER AND VERMICULITE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Materiais, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em:

Dr. Rafael Farinassi Mendes

Dr. Jéssica de Oliveira Notório Ribeiro

Msc. Carolina Rezende Pinto Narciso

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Orientador

LAVRAS –MG

2020

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade concedida e o sustento durante todo este período.

À minha família, aos meus pais Geraldo e Elza e ao meu irmão Marcos e cunhada Karen, pelo carinho, amor, confiança e apoio em mais esta etapa de minha vida.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Engenharia, pelas oportunidades e vivências.

Ao professor Rafael Farinassi Mendes, pela orientação, compreensão, paciência, suporte, pela vivência no laboratório de Materiais Compósitos e pela sua disposição ao longo de todos estes anos.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia pela contribuição para minha formação, pelo apoio, conselhos e disposição.

Ao professor André Cornélio Ribeiro e ao Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Lavras pela cessão do Laboratório de Geotecnia para realização dos experimentos necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Cnpq e a Fapemig que de forma direta financiam pesquisas realizadas em todo o país, de modo a contribuir para o desenvolvimento da ciência e a busca de descobertas que tragam retorno efetivo a sociedade.

Aos funcionários terceirizados e aos servidores públicos pela companhia, dedicação ao trabalho e as amizades construídas.

MUITO OBRIGADO !

*“O temor do Senhor é a instrução da sabedoria, e precedendo a honra vai à
humildade.”*

Provérbios 15:33

RESUMO

Atualmente, a dinâmica de produção empregada na economia mundial tem pautado na busca por novas alternativas para manufaturas e processos de transformação industriais. Eventos e discussões ao longo dos anos têm sido promovidos em busca de um denominador comum na relação entre economia e meio ambiente de modo a diminuir os impactos ambientais sejam pela extração mineral, vegetal e as poluições atmosféricas, terrestres e aquáticas. Pesquisas têm proporcionado inovações tecnológicas, colocando ao mercado novas opções de produtos e tecnologias que estejam alinhadas a sustentabilidade. O uso dos tijolos solo cimento é uma alternativa pelo fato de possuir cura ao ambiente e a possibilidade da incorporação de fibras ou partículas advindas de resíduos sejam eles da indústria em geral, do setor de construção civil, setores agrícolas ou do tratamento de efluentes. O uso de fibras sintéticas como a vermiculita e a fibra de vidro é uma opção a ser explorada em função de uma maior estabilidade dimensional e resistência à degradação em materiais compósitos. Desse modo tem-se como objetivo neste trabalho avaliar o desempenho físico-mecânico, assim como o isolamento térmico de tijolos solo cimento com a incorporação de carga/reforço, sendo elas: fibra de vidro para reforço mecânico e isolamento térmico e vermiculita para isolamento térmico. Foram avaliadas as propriedades físicas de densidade aparente, absorção de água e porosidade aparente, a propriedade mecânica de resistência à compressão e a condutividade térmica aos 28 dias e após o envelhecimento acelerado. O tratamento que utilizou 1,5% de fibra de vidro e o que foi incluso 3,0% de vermiculita e 3,0% fibra de vidro foram os que apresentaram melhores resultados para condutividade térmica. O aumento de 1,5% para 3,0% para ambos os particulados aumentou significativamente a porosidade aparente e a absorção de água pelo material e diminuiu a resistência à compressão dos tijolos. Os tratamentos se adequaram as normas para absorção de água. Para a resistência à compressão não houve cumprimentos às exigências propostas pelas normas.

Palavras-chave: Compósitos, materiais vítreos, isolamento térmico, reforço, sustentabilidade.

ABSTRACT

Currently, the production dynamics employed in the world economy has been based on the search for new alternatives for manufacturing and industrial transformation processes. Events and discussions over the years have been promoted in search of a common denominator in the relationship between economics and the environment in order to reduce environmental impacts, whether through mineral extraction, vegetation and atmospheric, terrestrial and aquatic pollution. Research has provided technological innovations, placing new options for products and technologies in line with sustainability. The use of soil cement bricks is an alternative because it has a cure for the environment and the possibility of incorporating fibers or particles from waste, whether from industry in general, the civil construction sector, agricultural sectors or wastewater treatment. The use of synthetic fibers such as vermiculite and fiberglass is an option to be explored due to greater dimensional stability and resistance to degradation in composite materials. Thus, the objective of this work is to evaluate the physical-mechanical performance, as well as the thermal insulation of soil cement bricks with the incorporation of load / reinforcement, which are: fiberglass for mechanical reinforcement and thermal insulation and vermiculite for thermal insulation . The physical properties of apparent density, water absorption and apparent porosity, the mechanical property of compressive strength and thermal conductivity at 28 days and after accelerated aging were evaluated. The treatment that used 1.5% fiberglass and the one that included 3.0% vermiculite and 3.0% fiberglass were the ones that showed the best results for thermal conductivity. The increase from 1.5% to 3.0% for both particulates significantly increased the apparent porosity and water absorption by the material and decreased the compressive strength of the bricks. The treatments met the standards for water absorption. There was no compliance with the requirements proposed by the standards for compressive strength..

Keywords: Composites, glassy materials, thermal insulation, reinforcement, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 – Estrutura da Vermiculita.....	5
--	---

CAPÍTULO 2

Figura 1 – Instrumentos relativos ao ensaio Proctor Normal.....	16
Figura 2 – Extração do material compactado.....	17
Figura 3 – Ensaio limite de liquidez.....	18
Figura 4 – Ensaio limite de plasticidade.....	19
Figura 5 – Maquinários e materiais utilizados na produção dos tijolo solo cimento.....	21
Figura 6 – Tijolo cortado para ensaio de compressão.....	23
Figura 7 – Dispositivo utilizado para determinação da condutividade térmica nos tijolos solo cimento.....	24
Figura 8 – Classificação granulométrica da areia.....	26
Figura 9 – Limite de liquidez e limite de plasticidade para cada tratamento.....	27
Figura 10 – Curvas de compactação.....	28
Figura 11 – Densidade aparente dos tijolos solo cimento	30
Figura 12 – Porosidade aparente dos tijolos solo cimento.....	31
Figura 13 – Absorção de água.....	32
Figura 14- Perda de massa dos tijolos solo cimento.....	33
Figura 15 – Avaliação microestrutural dos tijolos solo cimento.....	34
Figura 16 – Resistência à compressão dos tijolos solo cimento.....	36
Figura 17 – Condutividade térmica	37

LISTA DE TABELAS**CAPÍTULO 1**

Tabela 1 – Classificação dos solos - Highway Research Board.....3

Tabela 2 – Composição de fibras de vidro utilizadas na manufatura de compósitos6

CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Composição de cimento em relação ao tipo de solo..... 20

Tabela 2 – Tratamentos empregados e proporções de materiais..... 20

Tabela 3 – Resultados da análise textural.....25

Tabela 4– Índice de plasticidade..... 28

Tabela 5 – Teor de umidade adequado para produção dos tijolos..... 29

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AASHTO – American Association of State Highway Transportation

ASTM – American Society for Testing and Materials

IP – Índice de Plasticidade

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

CT – Tratamento Controle

VM – Vermiculita

FV – Fibra de Vidro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

1 – INTRODUÇÃO.....	1
2- REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1 – Tijolos solo cimento.....	2
2.2 – Vermiculita.....	4
2.3 – Fibras de vidro.....	6
3 – CONCLUSÃO.....	7
4 – REFERÊNCIAS.....	8

CAPÍTULO 2

1 – RESUMO.....	13
2 – INTRODUÇÃO.....	14
3 – MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 – Materiais.....	15
3.2 – Classificação da areia.....	16
3.3 – Ensaio de compactação ou Proctor Normal.....	16
3.4 – Limite de liquidez e plasticidade.....	18
3.5 – Produção dos tijolos.....	19
3.6 – Propriedades Físicas.....	21
3.7 – Ensaio de compressão.....	22
3.8 – Condutividade térmica	23
3.9 – Durabilidade	24
3.10 – Microscopia óptica.....	24
3.11 – Análise estatística.....	25

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 – Propriedades das matérias primas utilizadas.....	25
4.2 – Indicadores inerentes ao solo.....	26
4.3 – Propriedades do material.....	29
5 – CONCLUSÃO.....	38
6 – AGRADECIMENTOS.....	39
7 – REFERÊNCIAS.....	39

CAPÍTULO 1

1 – INTRODUÇÃO

Através das transformações econômicas, sociais e culturais advindas das revoluções industriais do século XIX e XX têm-se neste decorrer de tempo profundas alterações provocadas pelo homem no meio ambiente como a poluição dos meios atmosférico, terrestre e aquático. Ao longo dos anos, os ciclos biogeoquímicos têm sido alterados de forma profunda, principalmente pela inserção de gás carbônico provido de combustíveis fósseis obtidos do fundo dos oceanos. Tal ação tem influência direta no efeito estufa e no aquecimento global. A busca por formas de energia mais limpas e renováveis são um dos grandes desafios deste século, bem como a eficiência energética nos meios de produção de modo a convergir processos lineares em ciclos (BRAGA, 2005).

Associado a essas mudanças de paradigmas sociais têm-se o aumento constante da demanda por materiais, principalmente para a construção civil. Esse setor consiste em um grande nicho de mercado em qualquer economia atuando de maneira forte na geração de empregos e no desenvolvimento das cadeias produtivas (JARDIM, 2015). Todavia, como há uma grande demanda tem-se também um grande volume de descarte de material (PASSOS; CARASEK, 2018).

De modo a contribuir com o desenvolvimento sustentável, pesquisas voltadas para tijolos solo cimento têm sido bastante difundidas, seja com o emprego de resíduos da construção civil ou materiais *in natura*, como resíduos orgânicos e fibras como reforço. A produção desse tipo de material concerne a não necessidade de sinterização, atuando de forma direta na redução da emissão de gases do efeito estufa tendo-se então a promoção de um tijolo ecológico e sustentável. A união dos particulados e agregados nesse tipo de material é promovida através da estabilização com o uso do cimento (CANETOMI; REIS; NEGREIROS, 2016).

Outra vertente consiste na isolação térmica e acústica, pelo emprego desses reforços ou particulados que também a depender do tipo podem ter influência direta no custo final do produto (NAVROSKI, 2010). Isolações térmicas possuem grande importância, tendo influência quanto à produtividade na agropecuária pelo conforto térmico na criação de animais e conforto humano que possui influência direta na produtividade deste em um ambiente de trabalho ou lazer.

Outro fator vital consiste à economia de energia elétrica, seja para resfriamento do ambiente com ar condicionado no verão ou aquecimento no inverno. Esse último denota por um enorme problema que decorre no país, no que diz respeito, grande parte das residências, galpões e outros tipos de construções não estão preparados adequadamente para estações quentes ou frias. Este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho físico-mecânico e a durabilidade de tijolos solo cimento com a incorporação de materiais isolantes: fibra de vidro e vermiculita.

O estudo quanto ao emprego de tijolos ecológicos tem se difundido ao longo dos últimos anos devido às vantagens conferidas como a disponibilidade de material, redução dos impactos ambientais e principalmente o custo. O uso de reforços a matrizes cerâmicas em materiais compósitos, de cunho sintético, tendo em busca atingir propriedades de interesse e uma menor degradação é uma nova fronteira a ser explorada em busca de produtos com adequações de mercado e durabilidade (MOHAJERANI et al, 2019) .

2 – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 - Tijolos solo cimento

Os tijolos solo cimento são materiais com vasta utilização no setor da construção civil, devido a fácil concepção, sustentabilidade e suas características geométricas, podendo estes ser concebidos com a presença de encaixes que auxiliam na redução do uso de cimento ou argamassa para adesão e na redução de sobras da construção civil, influenciando diretamente os custos de um empreendimento. Esses materiais podem ser produzidos mediante compressão em uma prensa manual ou automática, adquirindo geometrias de forma maciça ou vazada (AMARAL; OLIVEIRA; SCHNEIDER, 2014).

Basicamente, os tijolos possuem em sua constituição a mistura de solo, cimento e água. As características de solo mais adequadas para fabricação decorrem de solos arenosos. O solo de forma geral advém dos processos de intemperismos químicos e físicos com a degradação de rochas. Aliado a presença de micro-organismos neste processo, a sua constituição passa ter variações nos patamares dos componentes que são gerados sendo estes: argila, silte, areia, pedregulho e matéria orgânica.

Desde os primórdios tijolos ecológicos têm sido produzidos, tendo como exemplo o adobe em civilizações antigas e atualmente tem ganhado notoriedade devido aos apelos

ambientais. A utilização do cimento nesse tipo de material nas formulações de solos tem como vertente a melhoria das propriedades e as interações entre os agregados empregados (HOLANDA; RODRIGUES, 2013).

O processo de hidratação do cimento atua de modo a preencher os espaços vazios entre os particulados, promovendo o aumento da densidade de todo sistema. Há também o favorecimento quanto à estabilidade volumétrica do tijolo frente a alterações de umidade em ambientes devido a diferenças entre estações do ano, bem como a presença deste em ambientes mais úmidos. O emprego de cimento, o qual é composto por silicatos de cálcio, alumínio e ferro, permite que haja uma maior interação entre os materiais constituintes mediante a sua reação de hidratação fazendo assim o preenchimento de grande parte dos poros no produto. A quantidade de cimento a ser empregada para estabilização está em acordo com o tipo de agregado que o solo é composto e conseqüentemente sua classificação, este emprego pode variar entre 5% e 13%, de acordo com a norma NBR 12253 (ABNT, 2012). Os solos são classificados com as nomenclaturas A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7. Sendo a presença de pedregulhos e areias tendo características mais próximas de A1. As alterações texturais variam a classificação. Conforme há o aumento da presença de argilas, siltes e a redução do teor de areia, este solo tem características próximas à classificação A7 conforme Tabela 1 abaixo.

Tabela 1- Classificação dos solos - Highway Research Board

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Fonte: AASHTO, 1996

De modo a promover uma melhor condição de trabalho e estabilização com o cimento faz-se necessário o emprego de solos com características arenosas, ou seja, tendo-se a areia em sua composição sendo maior que 65% (CARRASCO; MANTILLA; SILVA, 2014).

A presença de maior quantidade de agregados atua diretamente na redução do uso de cimento para produção dos tijolos e promove o preenchimento entre as partículas por este.

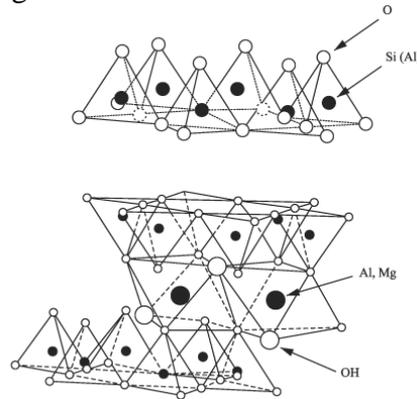
A busca por um parâmetro adequado de umidificação no tijolo para sua compactação foi desenvolvida pelo engenheiro Ralph Proctor em 1933. Através desse método há a verificação da relação entre a massa específica seca e umidade pelo emprego de uma energia típica definida através do ensaio normal de compactação, tendo esta influência direta nas características de resistência e absorção de água do material. A compactação do solo promove o aumento na densificação atuando, portanto na redução da porosidade e no aumento da resistência mecânica deste. Desse modo, esse parâmetro é vital no efeito sobre as propriedades físicas do material (RIBELATTO et al., 2017; COSTA et al., 2018).

Devido às influências do ambiente, na qual os materiais podem estar submetidos como: ambiente saturado de umidade, temperatura, ataque químico ou qualquer intempérie que ocasione algum processo de deterioração, o emprego da condição de durabilidade ou envelhecimento acelerado é um fator de grande importância a ser empregado aos tijolos solo cimento, de modo a se obter parâmetros em condições extremas aplicadas ao material, mediante solicitações térmicas e físico-mecânicas, resultando assim na avaliação da qualidade do material (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

2.2 - Vermiculita

Este mineral mico-lamelar consiste em um silicato hidratado advindo da mica com camadas justapostas em tetraedros de sílica e octaedros de magnésio, alumínio ou ferro conforme Figura 1 (SCHUMANN, 2008), possui grande versatilidade e características de interesse em diversos setores, tendo como exemplos: a agricultura, como material para substrato, tratamento e recuperação de solos conduzindo ao aumento de produtividade; isolamento térmico e acústico na construção civil; carreador de substâncias nocivas através de trocas catiônicas em tratamento de águas na engenharia ambiental e sanitária, dentre outras aplicações (PASSOS; CARASEK, 2018). Tem-se como suas características principais: a baixa densidade, inércia química, alta resistência térmica e capacidade de realizar trocas catiônicas (OLIVEIRA et al., 2012; CALDEIRA et al., 2013; ARAÚJO et al., 2015).

Figura 1 - Estrutura da vermiculita



Fonte: Adaptado de COSTA FILHO et al., 2005

A vermiculita expandida possui método de obtenção através da mineração de micáceos e a separação granulométrica de acordo com classificações determinadas em normativas. Desse modo, posteriormente há a submissão em fornos para que haja a expansão do material utilizando-se de temperaturas entre 800 e 1100°C. Sendo assim, nesse processo decorre a remoção da água estrutural no material em um curto intervalo de tempo. Ao final da etapa há obtenção de vermiculita e subprodutos denominados gangas. Através da secagem do material, o mesmo é classificado de acordo com os requisitos de mercado (SCHUMANN, 2008). Este tipo de material devido a sua capacidade de absorção e liberação de água, tendo seu mecanismo atuando como uma espécie de esponja pode proporcionar a presença de espaços vazios que promovem o isolamento térmico e acústico dentro do material de construção civil (LI et al., 2017; PALOMAR; BARLUENGA, 2015).

Segundo dados de 2018, no anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos, um fator característico dos depósitos brasileiros consiste em materiais com maior valor agregado devido à ausência de amianto nas jazidas. Os principais estados que atuam nesse setor são a Paraíba, Goiás e Piauí (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018). O Brasil responde por uma parcela de 14,9% da produção mundial de vermiculita possuindo reservas em torno de 7 milhões de toneladas segundo dados do Boletim do Setor Mineral (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019).

A utilização da vermiculita expandida neste estudo tem a atuação no controle na formação de poros e de modo simultâneo a contribuição para o conforto térmico ao ambiente, aliado ao baixo custo, que gira em torno de R\$ 250,00 a R\$ 1150,00 a tonelada a depender da pureza e da granulometria do material, oferecendo assim uma vantagem em relação ao uso de

outros materiais isolantes. Assim como, outros fatores de interesse, que estão ligados à disponibilidade no mercado, devido a seu fácil processamento.

2.3 - Fibras de Vidro

A fibra de vidro é um material que possui vasta aplicação sendo algumas como reforço para artigos náuticos, componentes automotivos para suporte de cargas mecânicas, elemento de barreira na indústria química, material para indústria de telecomunicações, dentre outros. Este tipo de fibra tem a característica de ser utilizada como tecido/manta ou de forma cortada em uma matriz polimérica ou cerâmica em materiais compósitos. Dentre os fatos que levam a sua grande utilização tem-se a sua capacidade de isolamento térmica, alta resistência a tração, inércia química frente a processos de degradação de materiais, bem como suas propriedades ópticas (KEMERICH et al., 2013; RANJITH et al., 2017).

As fibras podem ser classificadas como fibras de vidro do tipo E, C, S e AR, conforme Tabela 2. As fibras AR possuem dióxidos de zircônio em torno de 16% em sua composição. Cada classificação é devido à composição das fibras, sendo essas variações atuantes nas propriedades do material e conseqüentemente em suas aplicações. As fibras de vidro AR possuem resistência a ambientes alcalinos e são bastante difundidas em meios cimentícios (NETO; PARDINI, 2016).

Tabela 2 - Composição de fibras de vidro utilizadas na manufatura de compósitos

Constituintes	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	B ₂ O ₃ (%)	MgO(%)	CaO(%)	Na ₂ O(%)
Vidro E	55,2	14,8	7,3	3,3	18,7	-
Vidro C	65	4	5	3	14	8,5
Vidro S	65	25	-	10	-	-
Vidro AR	60	1	2	2	2	17

Fonte: Adaptado de NETO LEVY, 2016

As fibras de vidro são produzidas por fiação através de dois principais métodos, sendo o primeiro com a utilização do vidro pelletizado após os processos industriais de fabricação do vidro e a fiação direta advinda após o forno de fusão. À medida que se finaliza a fiação, a fibra recebe uma camada protetora de um polímero que auxilia durante a confecção de mantas

e na conservação do material para processamentos posteriores (DAMIANI, 2017). Na construção civil as fibras de vidro estão presentes em concretos, placas de gesso acartonado e cimentíceas, reforço para pisos empregados em obras no intuito de aumentar a resistência a esforços de tração ou flexão. Este aumento é devido ao mecanismo de transferência de carga da matriz para o reforço no material. Há a possibilidade de substituição ao aço em estruturas e ambientes agressivos conferindo leveza e durabilidade.

Quanto ao emprego em tijolos, a presença do vidro sob a forma de pó obtido com a reciclagem tem sido estudada como fundente em substituição ao feldspato no processo de produção por sinterização (GALVÃO et al., 2013; DEGHAN et al., 2017). No que se refere a este trabalho, o emprego das fibras de vidros nos tijolos solo cimento pode proporcionar o aumento da resistência mecânica, da mesma maneira que a condutividade térmica pode ser reduzida devido às propriedades deste material. Outros fatores importantes remetem a disponibilidade de forma padronizada no mercado e facilidade de processamento, por se tratar de um material inorgânico há uma menor possibilidade de absorção de água em contraponto ao uso de fibras lignocelulósicas, ou seja, têm-se particulados com estabilidade dimensional que favorecem uma melhor condição ao compósito cerâmico (SUJATHA; DEVI, 2018; LEE et al., 2013).

3 – CONCLUSÃO

Conclui-se que a sociedade de modo geral está diante de um grande desafio a ser trabalhado ao longo das próximas décadas, para que haja a garantia dos recursos naturais no futuro com a transformação de processos lineares em ciclos sustentáveis, reduzindo assim a demanda por materiais e a poluição do meio ambiente. A utilização de tijolos solo cimento visa contribuir com essa tarefa mediante a utilização de novos tipos de reforços sejam de cunho natural ou sintético no desenvolvimento dos materiais compósitos para a construção civil. Neste trabalho, o uso de fibra de vidro e vermiculita é um potencial objeto de estudo a ser explorado efetivamente buscando melhorias das propriedades físico-mecânicas e térmicas dos compósitos.

4 – REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE et al. Resistência a compressão de tijolos solo cimento fabricados com montículo do cupim *Cornitermes cumulans*. **Ciência Agrotécnica**, v.32, n.2, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ET-35 - Dosagem das misturas de solo cimento – normas de dosagem**. São Paulo, 2004, 63p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13554 – Solo cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem**. Rio de Janeiro, 2012, 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2003, 66p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459 - Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 2016, 9p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459 - Solo: Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016, 7p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182 - Solo: Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457 - Preparação amostras para ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016, 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492 - Tijolo de solo cimento - Análise dimensional, determinação de resistência a compressão e da absorção de água - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012, 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457 - Preparação amostras para ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016, 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833 - Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo cimento com utilização de prensa hidráulica**. Rio de Janeiro, 2013, 3p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3282 – Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes**. West Conshohocken, 2015, 6p.

BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental - O desafio do desenvolvimento sustentável*. 2.ed. São Paulo: Pearson, 2013.

CARRASCO, E.V.M.; SILVA, S.R.; MANTILLA, J.N.R. Assessment of mechanical properties and the influence of the addition of sawdust in soil-cement bricks using the technique of ultrasonic anisotropic inspection. **Journal of Materials in Civil Engineering**, Belo Horizonte, v. 26, n.2, p. 219-225, 2014.

COSTA, W.G.S. et al. Evaluation of the effects of the hydraulic gradient variation on the permeability of a compacted soil. **Acta Scientiarum**. Cruz das Almas, v. 40, n. 1, p. 2-5.

DAMIANI, R. A. Influência da temperatura de molde associada com o uso de fibra de vidro nas propriedades mecânicas e térmicas do nanocompósito (PA6/FV/MMT). **Revista Matéria**, v. 22, n. 1, p. 1-12, 2017.

DEGHAN, A.; PETERSON, K.; SHVARZMAN, A. Recycled glass fiber reinforced polymer additions to Portland cement concrete. **Construction and Building Materials**, v. 146, n. 1, p. 238-250, 2017.

JANNAT, N.; HUSSIEN, A.; ABDULLAH, B.; COTGRAVE, A. Application of agro and non-agro waste materials for unfired earth blocks construction: A review. **Construction and Building Materials**, v. 254, n. 1, p. 1-27, 2020.

JARDIM, M.C. A construção social do mercado de trabalho no setor de construção civil nas obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC): consensos e conflitos. **Revista Sociedade e Estado**, v. 30, n. 01, p. 165-187, 2015.

KEMERICH, P.D.C et al. Fibras de vidro: caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados. **Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Cascavel, v. 10, p. 2112-2121, 2013.

LAIBO, L. Water absorption and water/fertilizer retention performance of vermiculite modified sulphoaluminate cementitious materials. **Construction and Building Materials**, Jinan, v. 137, n.1, p. 224-233, 2017.

LEE, G. et al. Effects of recycled fine glass aggregates on the properties of dry-mixed concrete blocks. **Construction and Building Materials**, Jinan, v. 38, n.1, p. 638-643, 2013.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L.C. *Compósitos Estruturais - Ciência e Tecnologia*. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2016.

MARTINS, C.C. et al. Vermiculita como substrato para o teste de germinação de sementes de barbatimão. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n.3, p. 421-427, 2011.

MEHTA,P.K.; MONTEIRO, P.J.M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 4 ed. São Paulo : IBRACON, 2014.

MOHAJERANI, A. Amazing types, properties, and applications of fibers in construction materials.**Materials**, Melbourne, v. 12, n. 16, p. 1-45, 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não-Metálicos**. Brasília, 2018. 85 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Boletim do Setor Mineral**. Brasília, 2019. 28 p.

OLIVEIRA, M.P. et al. Compósitos à base de gesso com resíduos de EVA e vermiculita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.6, p.684-689, 2012.

OLIVEIRA, J.M.D. **Estudo da aplicação de vermiculita como carga ativa em verniz uretânico**. 2017. 112 p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, J.R.; AMARAL, A.G.; SCHNEIDER, R.M. Incorporação de resíduos sólidos de tornearias mecânicas na fabricação de tijolos-solo cimento. **Nativa**, Sinop, v. 2, n. 1, p. 53-57, 2014.

PASSOS, P.M.; CARASEK, H. Argamassas com resíduos para revestimento isolante térmico de parede pré-moldada de concreto. **Cerâmica**, Goiânia, v. 64, n. 1, p. 577-588, 2018.

PALOMAR, I.; BARLUENGA, J.P. Lime-cement mortars for coating with improved thermal and acoustic performance. **Construction and Building Materials**, Madrid, v.75, n.1, p. 306-314, 2015.

RANJITH,S.; VENKATASUBRAMANI,V.; SREEVIDYA,V. Comparative study on durability properties of engineered cementitious composites with polypropylene fiber and glass fiber. **Archives of Civil Engineering, Kangayam**, v. 63, n.4, p. 83-101, 2017.

REIS, G.D.; NEGREIROS, N.F.; CANETOMI, T.H.; Uso de resíduos da construção civil na fabricação de tijolos solo cimento. **ANAP Brasil**, v.9, n.16, p. 45-53, 2016.

REZENDE, E.I.P.R.; PERALTA-ZAMORA, P.G.; ABATE G. Estudo de sorção de herbicidas pelos argilominerais vermiculita e montmorilonita. **Química Nova**, Curitiba, v. 34, n.1, p. 21-27, 2011.

RIBELATTO, P.J.C. et al. Characterization of the maximum density of the soil, region Paraná midwest. **Investigación Agraria**. Guarapuava, v.19, n.1, p. 49-55, 2017

RODRIGUES, L.P.; HOLANDA, J.N.F. Influence of the incorporation of water treatment plant (WTP) sludge on the technological properties of soil-cement bricks. **Cerâmica**, Campos dos Goytacazes, v. 59, p. 551-556, 2013.

SCHUMANN,W. *Guia dos Minerais*. São Paulo : Disal, 2008.

SIQUEIRA, F.B.; HOLANDA, J.N.F. Effect of incorporation of grits waste on the densification behavior of soil-cement bricks. **Cerâmica**, Campos dos Goytacazes, v. 61, p. 414-419, 2015.

SIQUEIRA, F.B. et al. Influence of industrial solid waste addition on properties of soil-cement bricks. **Cerâmica**, Campos dos Goytacazes, v. 62, p. 237-241, 2016.

SUJATHA, E.R. ; DEVI, S.S. Reinforced soil blocks: Viable option for low cost building units. **Construction and Building Materials**, v. 189, n.1, p. 1124-1142, 2018.

CAPÍTULO 2

DESEMPENHO DE TIJOLOS SOLO CIMENTO PRODUZIDOS COM FIBRA DE VIDRO E VERMICULITA

1 – RESUMO

A pesquisa em materiais têm proporcionado inovações tecnológicas, melhoria dos processos de produção e qualidade de vida na sociedade. Concomitantemente, os processos de transformação de produtos industriais associados a altas demandas por materiais têm gerado grandes efeitos poluidores ao meio ambiente. Formas e mecanismos têm sido discutidos e implantados ao longo das últimas décadas de modo a reduzir esses entraves, o principal consiste no conceito de sustentabilidade, este pautado pela busca por materiais e rotas alternativas que garantem a redução dos impactos ambientais e a inserção dos processos tradicionais industriais em ciclos. Em termos de materiais empregados na construção civil, o uso de tijolos solo cimento é uma alternativa sustentável pelo fato deste possuir cura ao ambiente e a possibilidade da incorporação de fibras ou partículas advindas de resíduos industriais ou materiais convencionais. Desse modo tem-se como objetivo neste trabalho a produção de tijolos solo cimento com a incorporação de carga/reforço para isolamento térmico e desempenho físico-mecânico. Foram utilizadas fibras de vidro e partículas de vermiculita nas proporções de 1,5% e 3% em substituição ao solo, sendo a relação massa/massa. Os tijolos foram conformados utilizando-se de prensa hidráulica uniaxial. Foram avaliadas as propriedades físicas de: densidade aparente, absorção de água, porosidade aparente, a propriedade mecânica de: resistência à compressão, a propriedade térmica de: condutividade térmica. As propriedades foram avaliadas após 28 dias de cura e também após a condição de envelhecimento. Os tratamentos que utilizaram 1,5% e 3,0% de fibra de vidro e 3,0% de vermiculita foram os que apresentaram redução de forma efetiva na condutividade térmica do material. Para absorção e porosidade, o aumento na porcentagem de substituição do solo de 1,5 % para 3,0% aumentou significativamente no aumento destas propriedades físicas e na diminuição da resistência à compressão das amostras após o envelhecimento acelerado. As amostras denotaram inadequação para exigências estruturais. O tratamento que mais se destacou foi o que utilizou 1,5% de fibra de vidro, devido ao aumento do isolamento térmico e a não ocorrência no aumento da porosidade. Todas as amostras atenderam especificações para absorção de água.

Palavras-chave: Compósitos, materiais vítreos, isolamento térmico, reforço, sustentabilidade.

2 – INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas as economias globais se pautaram no uso excessivo dos recursos naturais conduzindo a uma situação insustentável a médio/longo prazo (JARDIM, 2015; JANNAT, 2020). Mediante a esse fato, a busca por alternativas ambientalmente corretas, que promovem a preservação dos recursos tem sido o grande desafio de diversos setores econômicos (BRAGA, 2005; VIVEIROS, 2015; MISTRI, 2020).

Desse modo, na construção civil o desenvolvimento de novos produtos seguindo estas diretrizes tem obtido grande expansão nas últimas décadas (DI MARIA, 2018). Os tijolos ecológicos ou tijolos solo cimento seguem este critério pelo fato de possuírem cura ao ambiente, ou seja, não há a necessidade na realização de processos de sinterização que geram a liberação de gás carbônico para a atmosfera e também a incorporação de resíduos ou materiais de interesse que atuam no desempenho deste material (CANETOMI; REIS; NEGREIROS, 2016).

A utilização de novos tipos de reforços como a fibra de vidro pende a melhorar a interação fibra matriz devido a menor variação dimensional dentro do material em comparação com as partículas lignocelulósicas que são utilizadas em pesquisas atualmente, devido à sua padronização obtida no processo produtivo. A fibra de vidro tem sido bastante utilizada devido as suas características de uma resistência a tração maior se comparada a outros tipos de fibra, constituindo várias aplicações como em materiais compósitos de matriz polimérica ou cerâmica, pela versatilidade, vida útil, redução da densidade e economia. Outras características importantes estão relacionadas à resistência a corrosão e a durabilidade do material (MACIEL et al., 2018).

Quanto à utilização da vermiculita o fato de grande disponibilidade no mercado associado ao baixo custo torna-se também uma alternativa ao emprego de particulados sintéticos em tijolos solo cimento. A expansão desse tipo de material durante o processamento torna-o quimicamente ativo, com baixa densidade e inerte em biosistemas. Esse material atua tanto na isolamento térmica quanto na formação de poros devido a sua capacidade de expansão e absorção de líquidos, possui inércia química, baixa densidade, tendo-se então com essas características uma potencial alternativa a aplicação em diversos setores como: agricultura, siderurgia, nutrição animal, construção civil, engenharia ambiental e sanitária, dentre outros (SILVA et al., 2015).

Os reforços sintéticos em tijolos solo cimento é um grande potencial a ser explorado de modo a alcançar resultados que atendam as especificações do mercado aliando conforto térmico, resistência mecânica e absorção de água, bem como contribuir com a sustentabilidade ambiental. Há poucos trabalhos desenvolvidos com a utilização de particulados sintéticos em tijolos solo cimento, tal qual o uso de fibra de vidro em materiais compósitos de matriz cerâmica (ARAÚJO; CÂNDIDO, 2015).

Sendo assim, o objetivo desse estudo consiste em avaliar o desempenho físico, mecânico e térmico com a utilização de fibra de vidro e vermiculita nas proporções 1,5% e 3% em tijolos solo cimento e contribuir com as pesquisas, mediante a utilização de novos tipos de reforços/particulados que estão sendo desenvolvidas na área de materiais compósitos. Assim como, propor um novo material de construção civil ao mercado, seguindo diretrizes sustentáveis e que possua baixo custo.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Materiais

Os tijolos foram produzidos utilizando-se de solo do território da Universidade Federal de Lavras – *Campus* Sede, em coordenadas geográficas de Latitude Sul 21°14'12,93" e Longitude Oeste 44°58'26,27", coletados e utilizados após peneiramento para retirada de torrões.

A fibra de vidro advém da empresa Fibertex com as características: fibra de vidro AR 6 mm, diâmetro 14 μ m, densidade 2,75 g/cm³ e módulo de elasticidade 74 GPa seguindo as normas NBR 12824 (ABNT,1993) e ASTM C 1185 (ASTM,1996).

A vermiculita foi fornecida pela indústria Vermiculita do Brasil em concordância com a norma NBR 9230 (ABNT, 2015). Apresenta como características: atoxidade, não abrasividade, ponto de fusão 1350°C, capacidade de absorção de água (400% sobre seu peso) e redução acústica de 62%.

O cimento empregado segue as normas NBR 11578 (ABNT,1991) sendo do tipo Portland CP-II. Por fim, a areia de construção civil foi doada pelo Grupo Santa Efigênia de forma *in natura*.

3.2 – Classificação granulométrica da areia

Realizou-se a classificação granulométrica da areia obtida. O procedimento consistiu na passagem do material por uma sequência de peneiras em uma mesa vibratória de modo a se obter frações de massa retida e frações de massa passantes. Foram utilizadas as peneiras com abertura de: 4, 8, 10, 30, 40, 50, 100 e 200 mesh, conforme norma NBR 7211 (ABNT, 2005).

3.3 - Ensaio de Compactação ou Proctor Normal

Esse tipo de caracterização tem como objetivo a obtenção do patamar de umidade adequado à produção dos tijolos solo cimento. Todos os procedimentos foram realizados com base nas normas NBR 7182 (ABNT, 2016) e NBR 6457 (ABNT, 2016). Tal realização requisitou o uso de instrumental conforme Figura 1, composto por cilindro normatizado de 150 mm de diâmetro e 177,8 mm de altura, soquete de 2,5 kg, conchas metálicas e extrator.

Figura 1 - Instrumentos relativos ao ensaio Proctor Normal



Fonte: Autor, 2020

Inicialmente, neste procedimento tem-se a fixação do molde cilíndrico a sua base e o uso de papel filtro para vedação. Em bandeja metálica adicionou-se água destilada em torno de 5% abaixo da umidade ótima presumível, ou seja, umidade adequada para a compactação,

sobre a mistura de solo em cada tratamento. Logo após, a mesma foi homogeneizada e levada para a compactação. Dentro do cilindro este material foi vertido até aproximadamente um terço do volume do recipiente. Posteriormente, com auxílio do soquete, 26 golpes sobre este solo inserido foram realizados no interior do cilindro de maneira uniforme, conforme Figura 1. Este procedimento foi repetido por mais duas vezes até completar a capacidade do cilindro. Retirou-se o excesso de material e logo após com o uso do extrator, o material compactado foi retirado do cilindro conforme Figura 2. As amostras extraídas do corpo de prova foram usadas para determinação da massa específica aparente seca de acordo com a Equação 1. Uma parcela de material compactado foi inserida em cápsulas metálicas com realização de pesagens antes e após uso em estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas conforme norma NBR 7182 (ABNT, 2016).

Figura 2 - Extração do material compactado



Fonte: Autor, 2020

O experimento foi realizado de modo a obter pontos para a construção de uma curva de compactação com os parâmetros massa específica em função do teor de umidade. Ao longo do procedimento tem-se o aumento gradativo em torno de 2% na inserção de água e a realização de todo procedimento anteriormente descrito. A massa específica aparente seca foi obtida mediante ao uso da Equação 1.

$$\gamma (g/cm^3) = \left(\frac{Mu}{V(1+w)} \right) \quad (1)$$

Em que:

γ - Massa específica aparente seca

V - Volume do cilindro

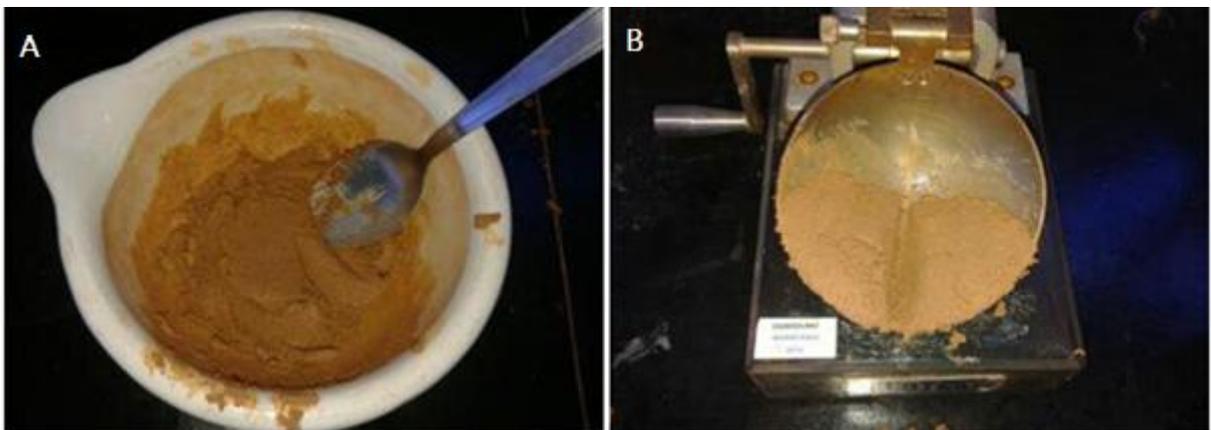
Mu - Massa Úmida

w - Umidade do solo compactado (decimais)

3.4 - Limite de Liquidez e Plasticidade

Os ensaios foram feitos de acordo com as normas NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016). A amostra de solo corrigido foi passada em peneira de 40 mesh e posteriormente foi homogeneizada com a inserção de água destilada conforme, Figura 3A. Para o ensaio de limite de liquidez fez-se o uso do instrumento denominado Casa Grande, presente na Figura 3B, com realização de sua calibração utilizando-se o gabarito. A amostra homogeneizada foi inserida na concha metálica. Dessa forma, após a divisão da massa com o cinzel e a realização de 25 golpes, um pequeno conteúdo foi extraído após a união das bordas e inserido em cápsulas metálicas para determinação da umidade.

Figura 3 - Ensaio Limite de Liquidez



Fonte: Autor, 2020

Para o ensaio de limite de plasticidade, a mesma amostra foi coletada e transformada em pequenos cilindros de 3 mm de diâmetro sobre uma placa de vidro tendo o gabarito como referencial para este procedimento conforme Figura 4. O processo deve ser realizado de modo que o cilindro adquira a mesma geometria do gabarito com a não ocorrência de fissuração da amostra. Finalizando esse processo, a amostra é seccionada e colocada em cápsulas metálicas para aferição de massa úmida e massa seca após ficar em estufa a $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ por 24 horas.

O índice de plasticidade (IP) foi determinado através da diferença entre os valores de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP).

Figura 4 - Ensaio Limite de plasticidade



Fonte: Autor, 2020

3.5 - Produção dos tijolos

O solo obtido foi peneirado para que houvesse a separação de torrões de terra valendo-se de peneira com abertura de 4,80 mm, conforme as normas NBR 10833 (ABNT, 1989) e NBR 6457 (ABNT, 2016). O mesmo procedimento foi realizado com a areia. De modo a realizar a correção do solo utilizado, uma amostra foi submetida à análise textural para verificação da composição de areia, argila e silte. A classificação do solo é um fator de importância frente à determinação de parâmetros para a estabilização do material com o emprego de areia e cimento. Mediante a classificação do solo de acordo com a AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials (1996) tem-se a correspondência ao emprego de cimento em função da especificação definida pela Associação Brasileira de Cimento Portland (1986), conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Composição de cimento em relação ao tipo de solo

Tipo de Solo	Cimento (%)
A1-a	5
A1-b	6
A2	7
A3	8
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1986

Os tijolos solo cimento foram produzidos conforme os tratamentos descritos na Tabela 2. As composições descritas abaixo se referem a relação (massa/massa).

Tabela 2 - Tratamentos empregados para produção dos tijolos solo cimento

Materiais	CT	VM 1,5	VM 3,0	FV 1,5	FV 3,0
Solo	93%	91,5%	90%	91,5%	90%
Cimento	7%	7%	7%	7%	7%
Vermiculita	-	1,5%	3%	-	-
Fibra de vidro	-	-	-	1,5%	3%

Fonte: (Autor, 2019)

Legenda: CT - Controle; VM 1,5 – Vermiculita 1,5%; VM 3,0 – Vermiculita 3,0%; FV 1,5 – Fibra de Vidro 1,5%; FV 3,0 - Fibra de Vidro 3,0%.

Após a realização dos processos anteriores, os materiais de reforço juntamente com o cimento e o solo foram misturadas mecanicamente de forma homogênea de acordo com cada tratamento, conforme Figuras 5B e 5C. Em seguida, esses materiais foram umidificados com adição de água nas proporções adequadas definidas pelo Ensaio Normal de Compactação e levados a máquina para conformação de acordo com a Figura 5A.

Os tijolos foram moldados através de compressão uniaxial e armazenados até a finalização do processo de cura em 28 dias. Após 6 horas e durante 7 dias consecutivos, dois ciclos de molhagem foram realizados. Os tijolos foram produzidos com as dimensões de 25 x 12,5 x 5 cm (comprimento, largura e espessura, respectivamente). Para cada tratamento foram produzidos 14 tijolos.

Figura 5 – Maquinário e materiais utilizados na produção dos tijolos solo cimento



Fonte: Autor, 2020

3.6 - Propriedades Físicas

Para avaliação das propriedades físicas, os corpos de prova foram imersos em recipiente com água por 24 horas em temperatura ambiente. As propriedades de densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água foram determinadas com base na norma NBR 8492 (ABNT, 2012). Foram pesados os corpos de prova em balança analítica para determinação da massa úmida após a imersão em água no período denotado acima. A massa imersa foi obtida com a utilização do método de Arquimedes, em que um recipiente com água foi colocado sobre uma balança analítica. Posteriormente, o corpo de prova é imerso neste

recipiente, há variação na altura do fluido e conseqüentemente, na alteração na massa. Por fim, de forma a determinar a massa seca dos corpos de prova, estes foram inseridos em uma estufa na temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Os valores das propriedades foram determinados utilizando as seguintes equações.

$$\text{Densidade aparente (g/cm}^3\text{)} = \left(\frac{M_s}{M_u - M_i} \right) \rho_w \quad (2)$$

$$\text{Porosidade aparente (\%)} = \left(\frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Absorção de água (\%)} = \left(\frac{M_u - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad (4)$$

Em que:

M_s - Massa Seca

M_u - Massa Úmida

M_i - Massa Imersa

ρ_w - Densidade do líquido

3.7 – Ensaio de Compressão

O teste mecânico de resistência à compressão foi realizado com base na norma NBR 8492 (ABNT, 2012) com a utilização de uma prensa automática marca Arotec modelo e célula de carga de 30 toneladas. Os corpos de prova foram cortados ao meio e suas faces superiores foram unidas de forma simétrica através de uma fina camada de argamassa, conforme Figura 6. Os corpos de prova foram ensaiados depois de imersos por 24 horas em água. A resistência à compressão foi obtida mediante a utilização da Equação 5:

$$\text{Resistência à Compressão} = \frac{F_{\text{máx.}}}{\text{Área}} \quad (5)$$

Onde:

F_{máx} - Carga máxima à fratura

Figura 6 - Tijolo cortado para o ensaio de compressão



Fonte: Autor, 2020

3.8 – Condutividade Térmica

O dispositivo empregado para aferição da condutividade térmica consiste em duas câmaras compostas por painéis de bagaço de cana, em que estas estão separadas através de uma vedação com o uso de placas de isopor de 15 mm de espessura, onde as amostras são inseridas e mantas compostas de camadas de papel alumínio e polietileno revestem todo o sistema de influências térmicas externas, conforme Figura 7. Internamente na câmara há a presença de uma lâmpada incandescente com temperatura controlável até o patamar de 50°C. A referência para o cálculo da condutividade térmica norteia a um regime estacionário. As temperaturas foram registradas por termopares que fornecem as variações de temperatura e tem sua transdução realizada pelo equipamento Data Collector, modelo IM DC 100-01E, fabricado pela empresa Yokogawa. A razão de aquecimento foi de 1°C/min em um ciclo de

ensaio de 10 horas. As temperaturas aferidas pelos termopares presentes na câmara foram utilizadas para determinação da condutividade térmica seguindo as diretrizes da NBR 15220 (ABNT, 2003).

Figura 7 - Dispositivo utilizado para determinação da condutividade térmica nos tijolos solo cimento



Fonte: Autor, 2020

3.9 – Durabilidade

Nesta caracterização, os corpos de prova inicialmente tiveram suas geometrias aferidas e posteriormente foram submetidos à condição de envelhecimento acelerado. Conforme a norma NBR 13554 (ABNT, 2012) foram realizados 6 ciclos de envelhecimento acelerado para cada tratamento. Todo o procedimento teve duração de 48 horas. Os corpos de prova foram imersos em água por 5 horas e secos em estufa a $71\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ por 42 horas. No sexto ciclo, os corpos de prova foram colocados em estufa a $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Posteriormente, as propriedades físicas e mecânicas foram reavaliadas.

3.10 - Microscopia Óptica

De modo a se obter imagens da superfície do material, amostras foram rompidas e a adesão entre o reforço e a matriz foi observada. A microscopia óptica foi realizada com o uso

do microscópio óptico digital da marca Cooling Tech, tendo magnificação de 50 a 500X e zoom de 5X.

3.11 - Análise Estatística

Os dados obtidos foram analisados por delineamento inteiramente casualizado com o emprego de análise de variância e teste de média Scott Knott com 5% de nível de significância mediante utilização do software Sisvar© versão 5.7.

4 – RESULTADOS E DISSCUSSÃO

4.1 – Propriedades das matérias primas utilizadas

Devido à variabilidade composicional dos solos existentes na litosfera fez-se necessário a realização da análise textural do solo e os percentuais se encontram na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Resultados da Análise Textural do solo

Característica	Areia (%)	Argila (%)	Silte (%)
Solo	29	56	15
Solo Corrigido	66	31	3

Fonte: Autor, 2020

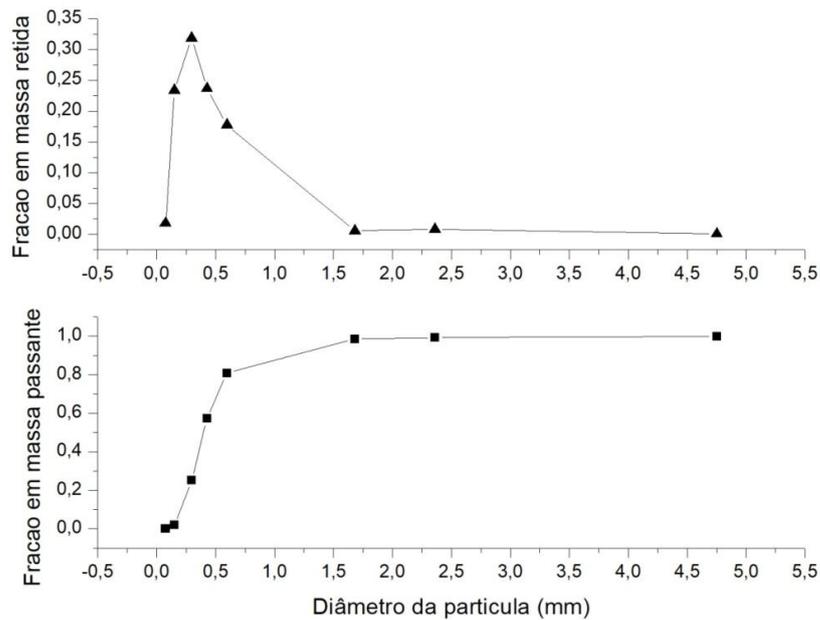
Na amostra de solo *in natura* coletado verifica-se que a argila é o seu principal constituinte com 56%. Desse modo, o tipo de solo não está em adequação para produção efetiva dos tijolos em função da especificação definida pela Portlan Cement Association (2006). Na normativa a faixa composicional de areia necessária está compreendida entre 65% e 90%.

Como forma de se atingir essa conjuntura, a correção do solo com a adição de areia foi realizada. Após o procedimento, o solo corrigido atingiu a especificação com o aumento da composição de areia neste de 29% para 66%, garantindo um solo arenoso. Milani e Barboza (2016) apresentaram o emprego de solos arenosos contendo 77% de areia em seu trabalho para fabricação de paredes monolíticas com o uso de solo cimento e aditivos a base de

policarboxilatos apresentando resultados satisfatórios para absorção de água e resistência a compressão.

Na classificação granulométrica da areia de acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2005). A Figura 8 consiste nas frações de massa retida e passante em função do diâmetro das partículas.

Figura 8 - Classificação granulométrica da areia



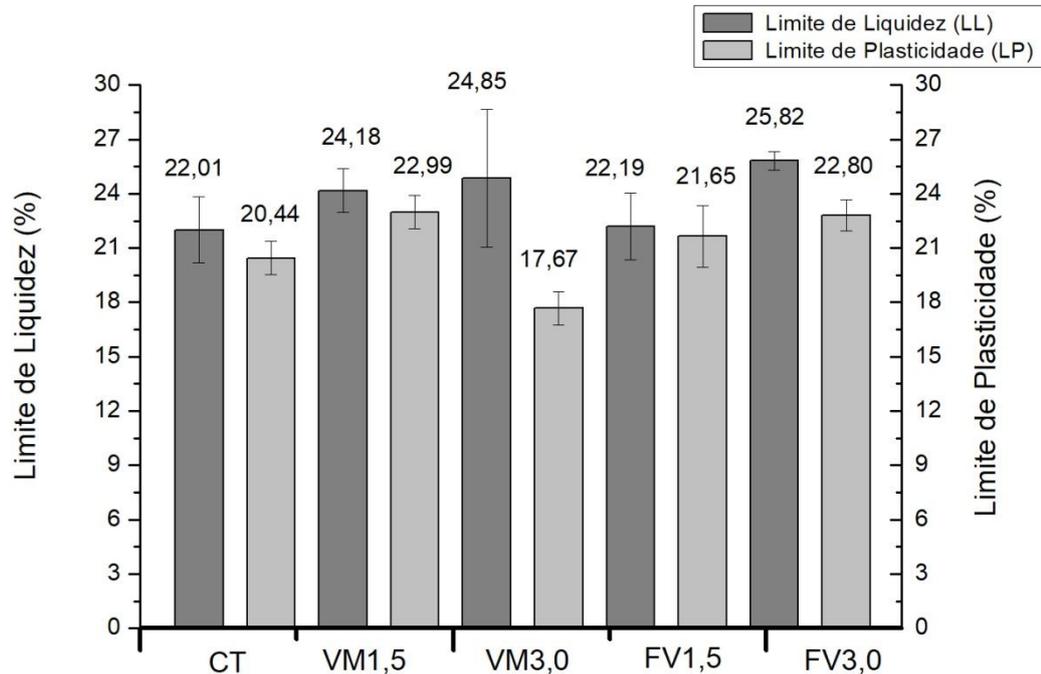
Fonte: Autor, 2020

O diâmetro médio Sauter encontrado do material foi de 0,36 mm. Essa granulometria indica uma maior quantidade de areia média presente, em torno de 66%. A presença de agregados com maior área superficial permite uma maior atuação do cimento como aglomerante hidráulico no preenchimento dos poros do material afetando diretamente nas propriedades físicas e mecânicas dos tijolos.

4.2 – Indicadores inerentes ao solo

Os valores de limite de liquidez podem ser visualizados na Figura 9. Pode-se observar que o emprego dos particulados aumentou o limite de liquidez em todas as proporções avaliadas.

Figura 9 - Limite de liquidez e limite de plasticidade para cada tratamento



Fonte: Autor, 2020

Legenda: CT - Controle; VM 1,5 – Vermiculita 1,5%; VM 3,0 – Vermiculita 3,0%; FV 1,5 – Fibra de Vidro 1,5%; FV 3,0 - Fibra de Vidro 3,0%.

Pelo fato, relacionado à elevada absorção de água pela vermiculita dentro do material tem-se o aumento na capacidade do sistema de retenção de água, antes de haver o comportamento líquido no material. Quanto à fibra de vidro, a aleatoriedade dos particulados e a menor interação com a água acarretou-se no aumento do limite de liquidez do sistema. Milani e Barboza (2016) relatam que o limite de liquidez de solos arenosos está em torno de 20%. O aumento no limite de plasticidade nos tratamentos está relacionado ao cisalhamento entre as partículas no qual confere a diminuição do deslizamento entre elas. Para VM 3,0 a sua redução no LP está condicionada a maior absorção de água pelo material e ao seu comportamento estrutural. Os patamares encontrados para limite de liquidez correspondem a valores menores que 45%, conforme especificado pela norma NBR 6459 (ABNT, 2016).

Os valores de índice de plasticidade se encontram na Tabela 4. Os valores encontrados estão em consonância com a NBR 6459 (ABNT, 2016) que determina valores IP menores que 18%.

Tabela 4 - Índice de Plasticidade

Tratamento	IP (%)
CT	1,57
VM 1,5	1,18
VM 3,0	7,15
FV 1,5	0,54
FV 3,0	3,02

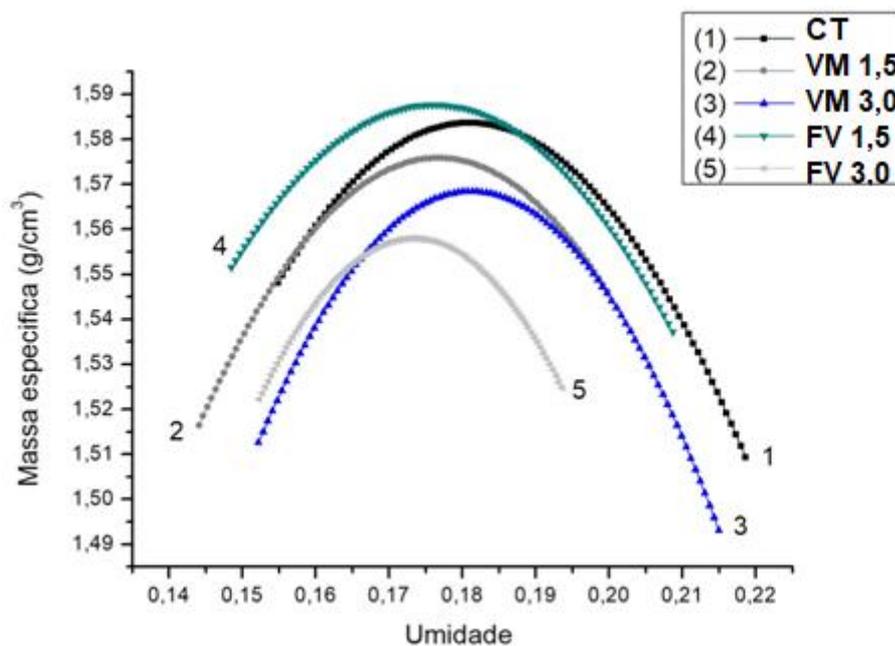
Fonte: Autor, 2020

Legenda: CT - Controle; VM 1,5 – Vermiculita 1,5%; VM 3,0 – Vermiculita 3,0%; FV 1,5 – Fibra de Vidro 1,5%; FV 3,0 - Fibra de Vidro 3,0%.

O solo foi classificado de acordo com a norma ASTM D-3282 (ASTM, 2004) como solo do tipo A2. Para que houvesse uma estabilização física e química entre os agregados fez-se necessário o emprego de 7% de cimento na composição.

As curvas de compactação de cada tratamento obtidas pelo ensaio de Proctor Normal podem ser observadas na Figura 10. Os valores de γ máximo e umidade podem ser verificados na Tabela 5.

Figura 10 - Curvas de Compactação



Fonte: Autor, 2020

Legenda: CT - Controle; VM 1,5 – Vermiculita 1,5%; VM 3,0 – Vermiculita 3,0%; FV 1,5 – Fibra de Vidro 1,5%; FV 3,0 - Fibra de Vidro 3,0%.

Tabela 5 - Teor de umidade adequado para produção dos tijolos

Tratamento	Umidade (%)	Massa específica (g/cm³)
CT	18,09	1,58
VM 1,5	17,67	1,58
VM 3,0	17,64	1,57
FV 1,5	18,13	1,59
FV 3,0	17,33	1,56

Fonte: Autor, 2020

Legenda: CT - Controle; VM 1,5 – Vermiculita 1,5%; VM 3,0 – Vermiculita 3,0%; FV 1,5 – Fibra de Vidro 1,5%; FV 3,0 - Fibra de Vidro 3,0%.

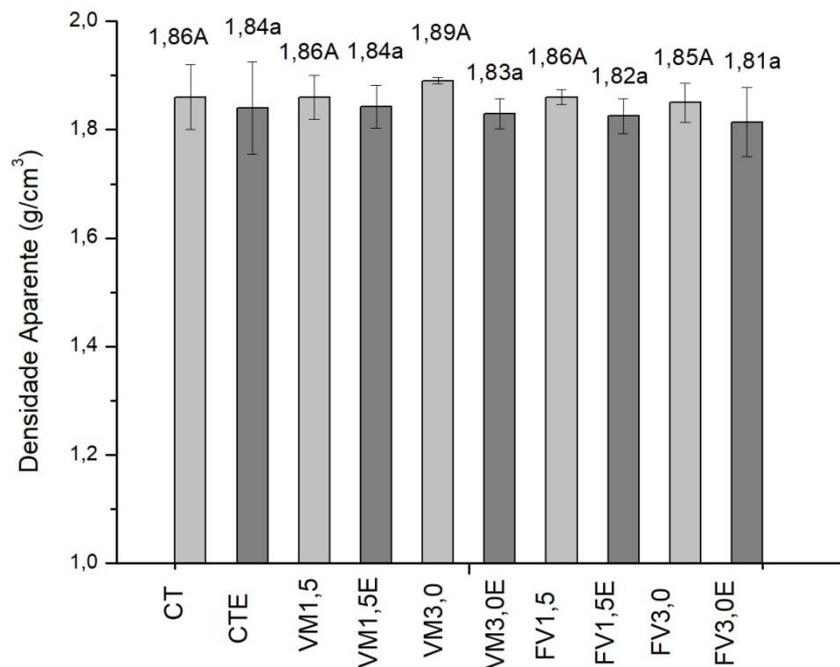
Mediante os procedimentos realizados de acordo com a norma NBR 7182 (ABNT, 2016) pode-se observar que não há grandes diferenças entre os valores de umidade ótima presente em cada curva de compactação estando estes entre de 17,33% e 18,13%. A massa específica aparente seca dos tratamentos variaram entre 1,56 g/cm³ e 1,59 g/cm³. Nos tratamentos VM 3,0 e FV 3,0 houve a diminuição da umidade ótima e da massa específica. Esse fato deve-se a fibra de vidro possuir baixa capacidade de absorção de água. Júnior et al. (2010) demonstrou experimentalmente a absorção deste tipo de material sendo esta inferior a 1% ao final de 840 horas. Segundo Xavier et al. (2019) o aumento no teor de microesferas de vidro em solos promoveu a redução da umidade ótima e da massa específica aparente do sistema.

Nos tratamentos VM 1,5 e VM 3,0 requisitaram uma menor quantidade de água no ensaio de compactação em comparação com o controle devido capacidade de absorção da vermiculita na qual reteve água nesse sistema.

4.3 – Propriedades do material

Na Figura 11 encontram-se os valores médios obtidos de densidade aparente dos tijolos solo cimento para cada tratamento, em ambas as condições, sendo elas antes e após o envelhecimento acelerado. Não houve diferenças significativas entre os valores encontrados.

Figura 11 – Densidade aparente dos tijolos solo cimento



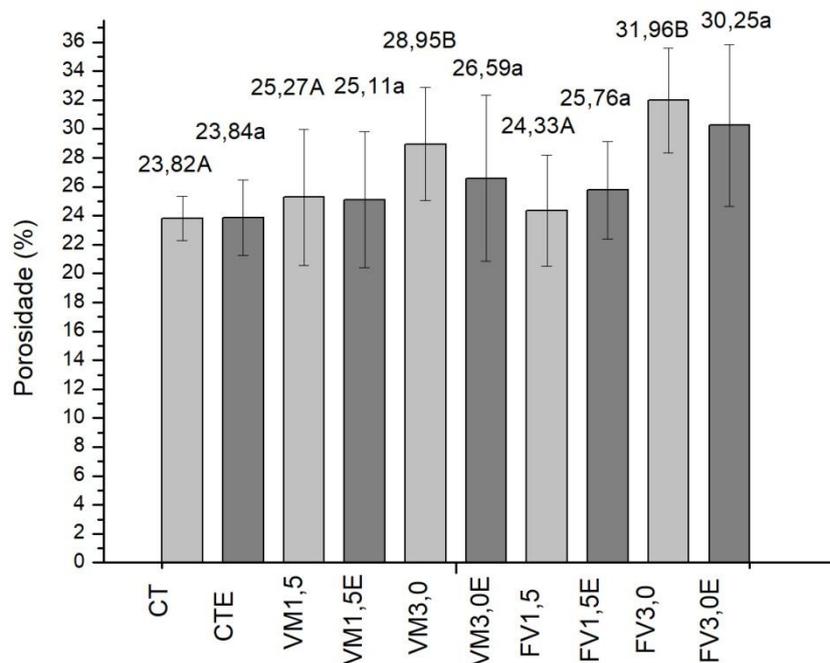
Fonte: Autor, 2020

Legenda: CT - Controle, VM 1, 5 – Vermiculita 1,5%; VM 3,0 - Vermiculita 3,0%; FV 1,5 – Fibra de Vidro 1,5%; FV 3,0 - Fibra de Vidro 3,0%; CTE; VM 1,5E; VM 3,0E; FV 1,5E; FV 3,0E são as mesmas amostras, porém na condição de envelhecimento acelerado. As amostras seguidas de mesma letra e não possuem diferenças estatísticas pelo teste Skott Knott a nível de significância de 5%.

Através dos valores pode-se perceber que o emprego de vermiculita ou fibra de vidro não afetou significativamente na densidade do material, tendo assim empacotamento próximo ao controle. Porém, após a condição de envelhecimento denota-se uma redução da densidade em todos os tratamentos realizados. Esse fato está relacionado à perda de material e ao aumento da porosidade após os ciclos de envelhecimento empregados. Li (2017) em suas pesquisas sobre absorção de água em materiais cimentícios demonstra a utilização de vermiculita em composições que variam de 0% a 40%. Para a composição de 5% houve a obtenção $1,8 \text{ g/cm}^3$ para densidade aparente. Os dados demonstram que na medida em que se aumenta a composição de vermiculita tem-se a diminuição da densidade do material. Sujatha e Devi (2018) avaliando a viabilidade de fibras para reforço em tijolos solo obtiveram valores de $1,810 \text{ g/cm}^3$ para amostras que utilizaram 1% de fibra de vidro com tendência à redução conforme aumento composicional.

Os valores médios de porosidade aparente dos tijolos solo cimento para todos os tratamentos, antes e após a condição de durabilidade estão presentes na Figura 12. Houve diferença significativa apenas quando avaliado os tijolos aos 28 dias para os tratamentos que foram empregados substituição em 3,0% tanto para fibra de vidro quanto para a vermiculita.

Figura 12 – Porosidade aparente dos tijolos solo cimento



Fonte: Autor, 2020

Legenda: CT - Controle, VM 1, 5 – Vermiculita 1,5%; VM 3,0 - Vermiculita 3,0%; FV 1,5 – Fibra de Vidro 1,5%; FV 3,0 - Fibra de Vidro 3,0%; CTE; VM 1,5E; VM 3,0E; FV 1,5E; FV 3,0E são as mesmas amostras, porém na condição de envelhecimento acelerado. As amostras seguidas de mesma letra e não possuem diferenças estatísticas pelo teste Skott Knott a nível de significância de 5%.

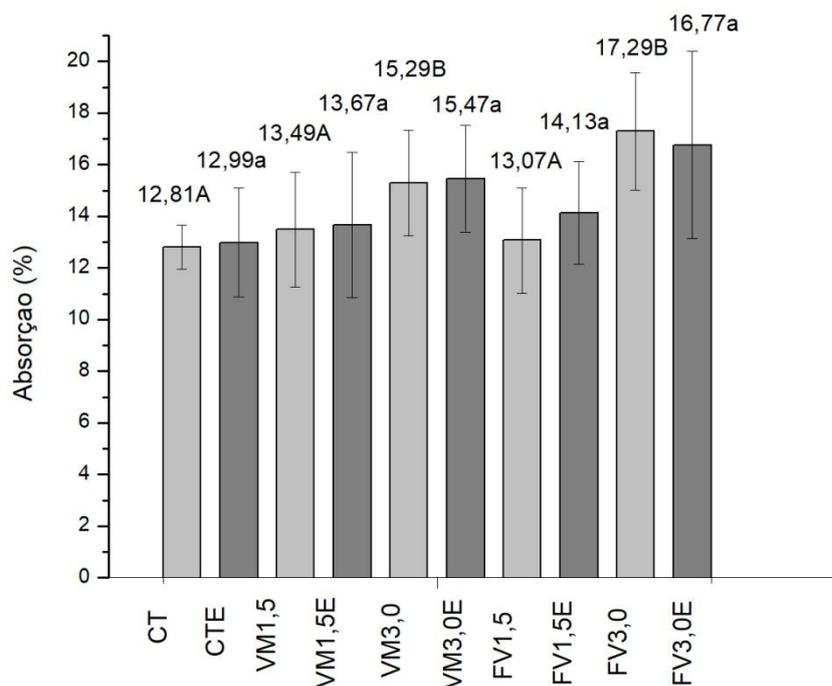
O aumento relacionado à vermiculita constitui-se pela formação de espaços vazios dentro do material mediante a atuação da vermiculita, devido a sua capacidade higroscópica. Da mesma forma que há a absorção tem-se a liberação da água pela vermiculita direcionando então a presença de vazios no material (TERTRE, 2018; SYRMANOVA, 2017).

Para a fibra de vidro com o índice de esbeltez calculado de $\lambda = 428$ têm-se a correspondência para o aumento da porosidade em consequência a aleatoriedade e o entrelaçamento das fibras curtas como geradores de poros dentro do material (YASUDA, Y. et al, 2018). A condição de envelhecimento acelerado promoveu o aumento da porosidade em

todos os tratamentos devido à perda de material e da aderência entre a matriz e os particulados conforme esperado, devido aos ciclos de molhagem e secagem realizados. Koksall et al. (2012) avaliando propriedades físicas e mecânicas em concretos leves com o uso de vermiculita expandida nas proporções entre 3% e 6% obteve como resultados o aumento da porosidade aparente variando de 29% a 37%, com o aumento composicional do material.

Na Figura 13 têm-se os valores médios de absorção de água dos tijolos solo cimento obtidos no ensaio para todos os tratamentos, nas condições após 28 dias e após o envelhecimento acelerado. Observa-se que houve o aumento significativo da absorção de água apenas para os tratamentos que foram empregados 3,0% tanto para fibra de vidro quanto para a vermiculita. Os demais tratamentos não diferiram estatisticamente.

Figura 13 – Absorção de água dos tijolos solo cimento



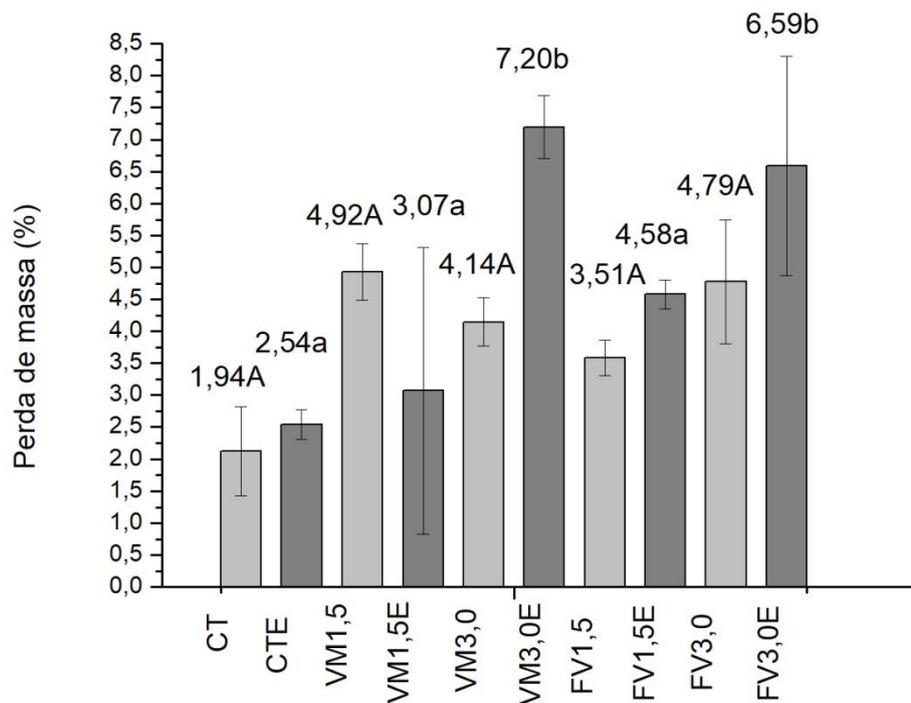
Fonte: Autor, 2020

Legenda: CT - Controle, VM 1, 5 – Vermiculita 1,5%; VM 3,0 - Vermiculita 3,0%; FV 1,5 – Fibra de Vidro 1,5%; FV 3,0 - Fibra de Vidro 3,0%; CTE; VM 1,5E; VM 3,0E; FV 1,5E; FV 3,0E são as mesmas amostras, porém na condição de envelhecimento acelerado. As amostras seguidas de mesma letra e não possuem diferenças estatísticas pelo teste Skott Knott a nível de significância de 5%.

O aumento da absorção de água no tratamento VM 3,0 está condicionado à própria capacidade de absorção de água intrínseca a vermiculita. A formação de poros no material contribui também para o aumento da absorção de água, pois esta pode ocupar os espaços vazios formados. A presença da aleatoriedade das fibras de vidro no tratamento FV 3,0 denota-se também na geração de poros e consequentemente o aumento da absorção de água. Sutcu (2015) avaliando o emprego de vermiculita em tijolos, obteve o aumento na absorção de água pelo material conforme o aumento na composição empregada, limitada a 10%. À proporção que alcançou resultados satisfatórios em consonância com a especificação compreendem-se ao emprego de 2,5% a 3,5%. Os valores médios encontrados atenderam a norma NBR 8491 (ABNT, 2012) que delimita a 20% a absorção máxima de água em tijolos solo cimento. A condição de durabilidade aumentou a absorção de água no sistema devido ao aumento da porosidade.

Os valores médios de perda de massa encontram-se na Figura 14. Os dados mostram que houve diferenças significativas de perda de massa para o envelhecimento acelerado nas amostras de fibra de vidro e vermiculita que utilizaram 3,0% de substituição.

Figura 14 - Perda de massa dos tijolos solo cimento



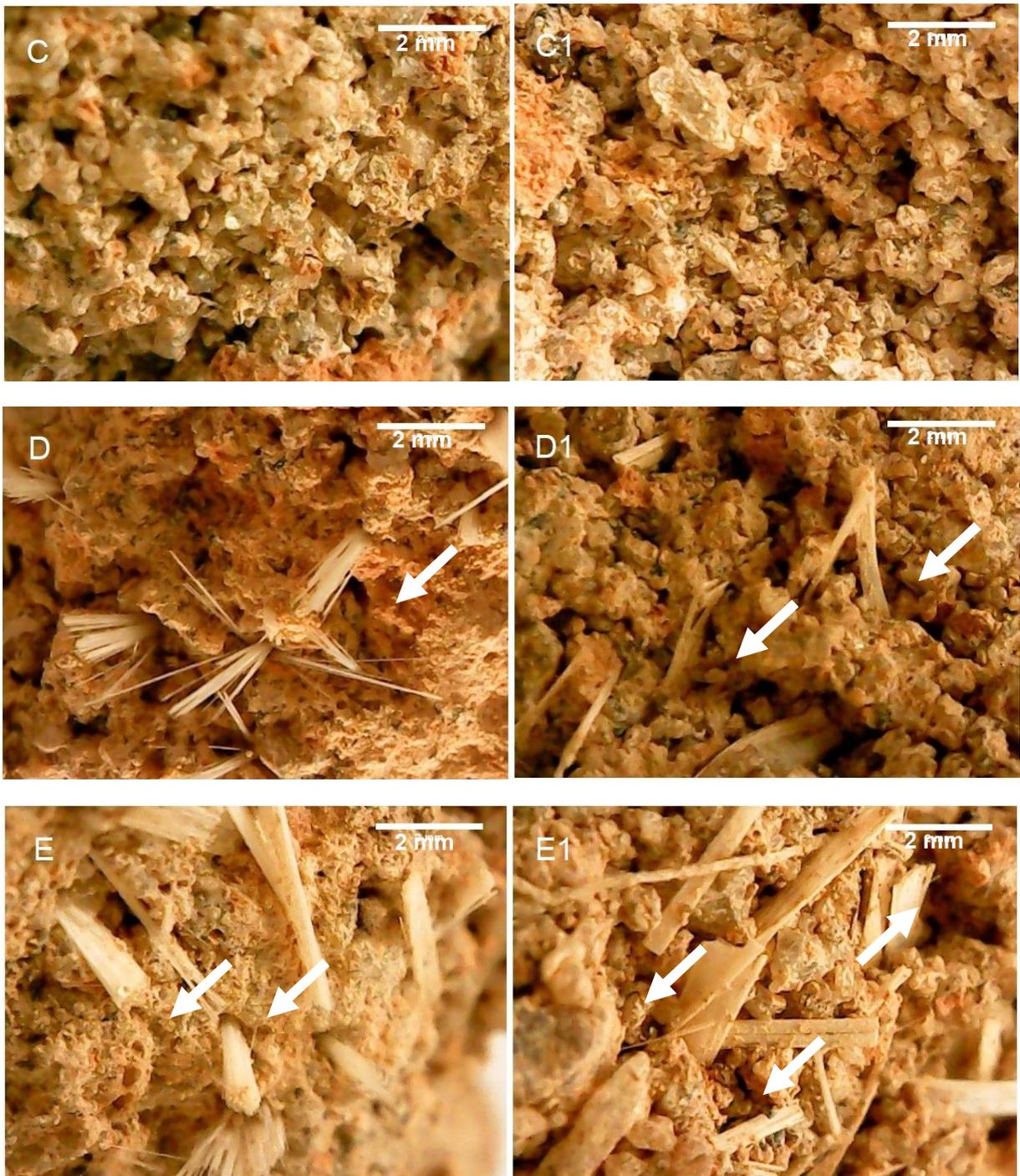
Fonte: Autor, 2020

Legenda: CT - Controle, VM 1, 5 – Vermiculita 1,5%; VM 3,0 - Vermiculita 3,0%; FV 1,5 – Fibra de Vidro 1,5%; FV 3,0 - Fibra de Vidro 3,0%; CTE; VM 1,5E; VM 3,0E; FV 1,5E; FV 3,0E são as mesmas amostras, porém na condição de envelhecimento acelerado. As amostras seguidas de mesma letra e não possuem diferenças estatísticas pelo teste Skott Knott a nível de significância de 5%.

A condição de durabilidade atuou no aumento da perda de massa do material após os ciclos de envelhecimento acelerado. Na Figura 15 estão apresentadas as avaliações microestruturais dos tijolos solo cimento. Através das microscopias presentes na Figura 15A1 a 15E1 podem-se verificar o aumento da porosidade, perda de aderência entre as fibras e matriz e a redução da densidade do material. Os tratamentos que obtiveram o aumento significativo da porosidade, ou seja, VM 3,0 e FV 3,0 foram os que apresentaram uma maior perda de massa após o envelhecimento acelerado, o que acarretou na fragilização do compósito e na diminuição das propriedades mecânicas. Os valores obtidos atendem as especificações da ABCP (2004) que limita superiormente a 10% a perda de massa após ciclos de molhagem e secagem.

Figura 15- Avaliação microestrutural dos tijolos solo cimento





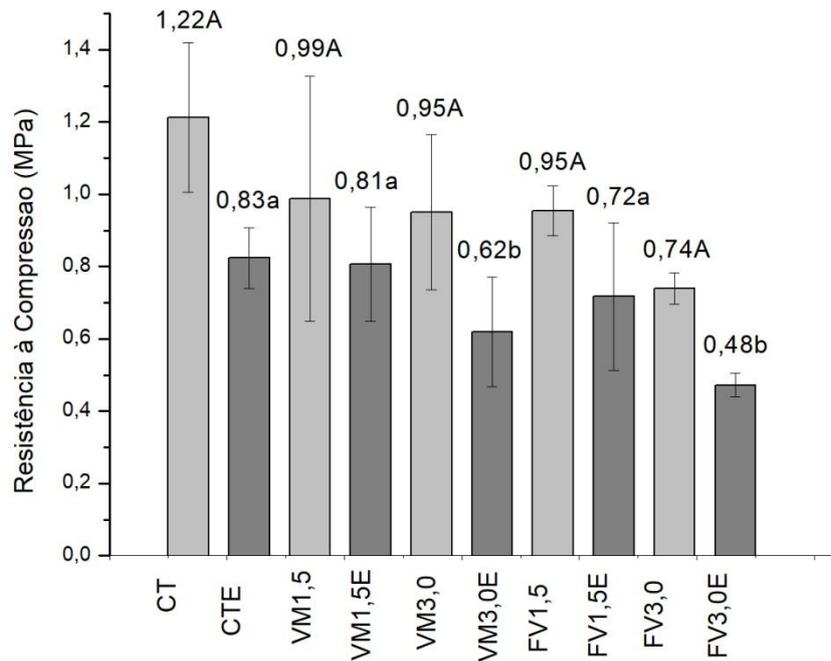
Fonte: Autor, 2020

Legenda: A- Controle, B – Vermiculita 1,5%, C - Vermiculita 3,0%, D – Fibra de Vidro 1,5 %; E – Fibra de Vidro 3,0%. Os caracteres alfa numéricos indicam que o tratamento está na condição de envelhecimento.

Os valores médios de resistência à compressão dos tijolos solo cimento para cada tratamento, antes e após o envelhecimento acelerado se encontram na Figura 16. Denota-se

que em todos os tratamentos precedentes ao envelhecimento, não houve diferença significativa da resistência à compressão. Já na condição de durabilidade houve diminuição significativa nas composições de 3,0% tanto de vermiculita quanto de fibra de vidro.

Figura 16 - Resistência à compressão dos tijolos solo cimento



Fonte: Autor, 2020

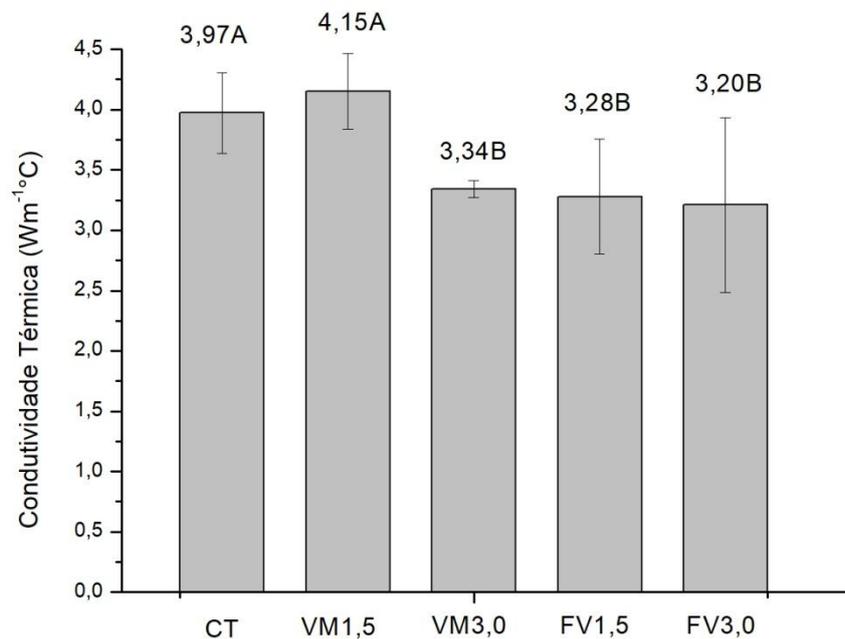
Legenda: CT - Controle, VM 1, 5 – Vermiculita 1,5%; VM 3,0 - Vermiculita 3,0%; FV 1,5 – Fibra de Vidro 1,5%; FV 3,0 - Fibra de Vidro 3,0%; CTE; VM 1,5E; VM 3,0E; FV 1,5E; FV 3,0E são as mesmas amostras, porém na condição de envelhecimento acelerado. As amostras seguidas de mesma letra e não possuem diferenças estatísticas pelo teste Skott Knott a nível de significância de 5%.

A diminuição da propriedade mecânica está relacionada ao aumento da porosidade e a diminuição da densidade aparente apresentada por estes tratamentos. Podemos também associar a perda da aderência entre a fibra matriz conforme presente nas Figuras 15C1, 15D1, 15E1 tendo consequência o aumento da porosidade e a baixa eficiência dos mecanismos de transferência de carga da matriz para as fibras. A perda de massa na superfície dos tijolos solo cimento atuou na redução da resistência a compressão dos materiais. No estudo de Damasceno et al. (2015) demonstra que a adição de 5% e 10% de vermiculita atuou na

redução das propriedades mecânicas em telhas de concreto. Para Sutcu (2015), o aumento no percentual de vermiculita reduziu à resistência a compressão de tijolos em alvenaria de vedação. Em seu estudo Sujatha e Devi (2018) avaliando reforços em tijolos solo cimento como fibras de banana, juta, polipropileno e vidro AR alcançou aumento na resistência à compressão com emprego de proporções entre 0,25% e 1%, com exceção da fibra de vidro AR que após o emprego de 0,75% teve a diminuição da propriedade mecânica do material. Os valores não atenderam o patamar maior que 1,7 MPa denotando inadequação para exigências estruturais conforme normas NBR10836 (ABNT,2012) e NBR 8491 (ABNT, 2012).

Na Figura 17 encontram-se os valores médios de condutividade térmica obtida para os diferentes tratamentos utilizados na produção dos tijolos solo cimento. Houve diferença estatística entre os tratamentos.

Figura 17 - Condutividade Térmica



Fonte: Autor, 2020

Legenda: CT – Controle; VM1,5 – Vermiculita 1,5%; VM 3,0 - Vermiculita 3,0%; FV 1,5 – Fibra de Vidro 1,5%; FV 3,0 –Fibra de Vidro 3,0. As amostras seguidas de mesma letra não possuem diferenças estatísticas pelo teste Skott Knott a nível de significância de 5%.

Os tratamentos VM 3,0, FV 1,5 e FV 3,0 foram os que obtiveram os menores valores de condutividade térmica apresentaram igualdade estatística entre si e diferiram em relação aos demais tratamentos. A redução da condutividade térmica está relacionada ao processo de formação de poros (DOUBI et al., 2017). Desse modo, a presença de ar promovida na liberação de água pela vermiculita atuou na formação de poros dentro do material de modo mais eficiente no tratamento VM 3,0. Associado a este fato tem-se a característica intrínseca a vermiculita, de ser um material isolante, atuando assim na redução dos processos de transmissão de calor dentro do material conforme pode ser observada pela presença de poros nas microscopias presentes na Figura 14. A presença da fibra de vidro para os tratamentos FV 1,5 e FV 3,0 atuaram na isolação térmica do material devido a sua aleatoriedade, promovendo a formação dos poros dentro do material, associado a sua característica intrínseca de ser um isolante térmico. Ambos os tratamentos foram eficientes devido à uniformidade das fibras empregadas. Passos e Carasek (2018) empregaram vermiculita e fibra de vidro em associação na produção de concretos obtendo valor de $0,25 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ e estes foram efetivos na redução da condutividade térmica em materiais cerâmicos. Sutcu (2015) em seu trabalho investigou a influência na condutividade térmica com o emprego de 2,5%, 5%, 7,5% e 10% de vermiculita expandida e a redução da propriedade foi alcançada na medida em que se aumentava o teor empregado .

Os valores de condutividade térmica obtidos estão em adequação à norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) que define parâmetros entre $0,6-0,8 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ para tijolos.

5 – CONCLUSÃO

Os tratamentos que utilizaram 3,0% tanto de vermiculita quanto fibra de vidro apresentaram aumento significativo para porosidade aparente e absorção de água devido ao entrelaçamento de fibras e variação volumétrica da vermiculita na formação de poros no material.

O emprego de vermiculita em 3,0% e fibra de vidro em 1,5% e 3% reduziram de modo significativo a condutividade térmica nos tijolos solo cimento destes tratamentos pela formação de poros dentro do material associado à característica de isolamento térmico dos particulados.

Por outro lado, o emprego dos particulados reduziu a resistência à compressão do material sendo inferior ao patamar de 1,7 MPa estabelecido pela norma NBR10836 (ABNT,2012) inadequando-se a exigências estruturais devido a menor interação fibra matriz.

Para projetos futuros, o estudo associando a fibra de vidro em conjunto com a vermiculita é de interesse e passível de obter excelentes resultados na melhoria das propriedades físico-mecânicas e térmicas do material.

6 – AGRADECIMENTOS

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de (FAPEMIG - APQ-02204-16), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

7 - REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE et al. Resistência a compressão de tijolos solo cimento fabricados com montículo do cupim *Cornitermes cumulans*. **Ciência Agrotécnica**, v.32, n.2, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3282 – Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes**. West Conshohocken, 2015, 6p.

ARAÚJO, D.L.; CÂNDIDO, E.S. Paineis pré-moldados de argamassa armada com vermiculita expandida e reforçada com fibras de vidro. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. Goiânia, v. 10, n.3, p.1-18, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **ET-35 - Dosagem das misturas de solo cimento – normas de dosagem**. São Paulo, 2004, 63p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13554 – Solo cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem**. Rio de Janeiro, 2012, 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2003, 66p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459 - Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 2016, 9p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459 - Solo: Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016, 7p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182 - Solo: Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457 - Preparação amostras para ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016, 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 – Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2005, 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492 - Tijolo de solo cimento - Análise dimensional, determinação de resistência a compressão e da absorção de água - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012, 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457 - Preparação amostras para ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016, 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833 - Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo cimento com utilização de prensa hidráulica**. Rio de Janeiro, 2013, 3p.

BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental - O desafio do desenvolvimento sustentável*. 2.ed. São Paulo: Pearson, 2013.

CARRASCO, E.V.M.; SILVA, S.R.; MANTILLA, J.N.R. Assessment of mechanical properties and the influence of the addition of sawdust in soil-cement bricks using the

technique of ultrasonic anisotropic inspection. **Journal of Materials in Civil Engineering**, Belo Horizonte, v. 26, n.2, p. 219-225, 2014.

DAMASCENO, F.A. et al. Propriedades físicas, mecânicas e térmicas de telhas de concreto fabricadas com adição de diferentes materiais isolantes. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 23, n.5, p. 406-417, 2015.

DAMIANI, R. A. Influência da temperatura de molde associada com o uso de fibra de vidro nas propriedades mecânicas e térmicas do nanocompósito (PA6/FV/MMT). **Revista Matéria**, v. 22, n. 1, p. 1-12, 2017.

DEGHAN, A.; PETERSON, K.; SHVARZMAN, A. Recycled glass fiber reinforced polymer additions to Portland cement concrete. **Construction and Building Materials**, v. 146, n. 1, p. 238-250, 2017.

DI MARIA, A. et al. Life cycle assessment to evaluate the environmental performance of new construction material from stainless steel slag. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. v.23, n.1, p. 2091-2109, 2018.

DOUBI, H.G. et al. Thermal conductivity of compressed earth bricks strengthening by shea butter wastes with cement. **Materials Sciences and Applications**, v.8,n.1, p.848-858, 2017.

JANNAT, N.; HUSSIEN, A.; ABDULLAH, B.; COTGRAVE, A. Application of agro and non-agro waste materials for unfired earth blocks construction: A review. **Construction and Building Materials**, v. 254, n. 1, p. 1-27, 2020

JARDIM, M.C. A construção social do mercado de trabalho no setor de construção civil nas obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC): consensos e conflitos. **Revista Sociedade e Estado**, v. 30, n. 01, p. 165-187, 2015.

JUNIOR, O.F.; OLIVEIRA, F.S.; SILVA, D.A.K. Caracterização mecânica, térmica e perfil de absorção de compósitos híbridos de fibra de vidro/fibra de pupunheira em matriz poliéster insaturado. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 5, n.1, p. 01-09, 2010.

KEMERICH, P.D.C et al. Fibras de vidro: caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados. **Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Cascavel, v. 10, p. 2112-2121, 2013.

KOSAL,F. et al. Effect of high temperature on mechanical and physical properties of lightweight cement base refractory including expanded vermiculite. **Materials Research Innovations**. Yozgat, v. 16, n.1, p. 1-13, 2012.

LI, L. Water absorption and water/fertilizer retention performance of vermiculite modified sulphoaluminate cementitious materials. **Construction and Building Materials**, Jinan, v. 137, n.1, p. 224-233, 2017.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L.C. *Compósitos Estruturais - Ciência e Tecnologia*. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2016.

MACIEL, N.O.R. et al. Comparative tensile strength analysis between epoxy composites reinforced with curaua fiber and glass fiber. *Journal of Materials Research and Technology*. Rio de Janeiro, v. 7, n. 4, p. 561-565, 2018.

MARTINS, C.C. et al. Vermiculita como substrato para o teste de germinação de sementes de barbatimão. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n.3, p. 421-427, 2011.

MILANI, A.P.S; BARBOZA,C.S. Contribuição ao estudo de propriedades do solo cimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas, **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n.4, p. 143-153, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não-Metálicos**. Brasília, 2018. 85 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Boletim do Setor Mineral**. Brasília, 2019. 28 p.

MISTRÌ,A. et al. A review on different treatment methods for enhancing the properties of recycled aggregates for sustainable construction materials. **Construction and Building Materials**. West Bengal, v. 233, n.1, p. 1-12, 2020.

OLIVEIRA, M.P. et al. Compósitos à base de gesso com resíduos de EVA e vermiculita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.6, p.684-689, 2012.

OLIVEIRA, J.M.D. **Estudo da aplicação de vermiculita como carga ativa em verniz uretânico**. 2017. 112 p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, J.R.; AMARAL, A.G.; SCHNEIDER, R.M. Incorporação de resíduos sólidos de tornearias mecânicas na fabricação de tijolos-solo cimento. **Nativa**, Sinop, v. 2, n. 1, p. 53-57, 2014.

PASSOS, P.M.; CARASEK, H. Argamassas com resíduos para revestimento isolante térmico de parede pré-moldada de concreto. **Cerâmica**, Goiânia, v. 64, n. 1, p. 577-588, 2018.

PALOMAR, I.; BARLUENGA, J.P. Lime-cement mortars for coating with improved thermal and acoustic performance. **Construction and Building Materials**, Madrid, v.75, n.1, p. 306-314, 2015.

RANJITH, S.; VENKATASUBRAMANI, V.; SREEVIDYA, V. Comparative study on durability properties of engineered cementitious composites with polypropylene fiber and glass fiber. **Archives of Civil Engineering, Kangayam**, v. 63, n.4, p. 83-101, 2017.

REIS, G.D.; NEGREIROS, N.F.; CANETOMI, T.H.; Uso de resíduos da construção civil na fabricação de tijolos solo cimento. **ANAP Brasil**, v.9, n.16, p. 45-53, 2016.

REZENDE, E.I.P.R.; PERALTA-ZAMORA, P.G.; ABATE G. Estudo de sorção de herbicidas pelos argilominerais vermiculita e montmorilonita. **Química Nova**, Curitiba, v. 34, n.1, p. 21-27, 2011.

RODRIGUES, L.P.; HOLANDA, J.N.F. Influence of the incorporation of water treatment plant (WTP) sludge on the technological properties of soil-cement bricks. **Cerâmica**, Campos dos Goytacazes, v. 59, p. 551-556, 2013.

SCHUMANN, W. *Guia dos Minerais*. São Paulo : Disal, 2008.

SEGANTIN, A.A.S.; WADA, P.H. Estudo de dosagem de tijolos de solo cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v.33, n.2. p. 179-183, 2011.

SIQUEIRA, F.B.; HOLANDA, J.N.F. Effect of incorporation of grits waste on the densification behavior of soil-cement bricks. **Cerâmica**, Campos dos Goytacazes, v. 61, p. 414-419, 2015.

SIQUEIRA, F.B. et al. Influence of industrial solid waste addition on properties of soil-cement bricks. **Cerâmica**, Campos dos Goytacazes, v. 62, p. 237-241, 2016.

SUTCU, M. Influence of expanded vermiculite on physical properties and thermal conductivity of clay bricks. **Ceramics International**, Izmir, v. 41, n.2, p. 2819-2827, 2015.

SYRMANOVA, K.K. et al. Vermiculite absorption capacity increasing by acid activation. **Oriental Journal of Chemistry**. Auezov South, v. 33, n.1, p. 509-513, 2017.

TERTRE, E. et al. Diffusion of water through the dual porosity swelling clay mineral vermiculite. **Environmental Science & Technology**. Poitiers, v.52, n.4, p. 1899-1907, 2018.

VIVEIROS, E.P. et al. For new environmental ethics. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v.20, n.3, p. 331-336, 2015.

XAVIER, A.V.; MENEGOTTO, M.L.; BOEHL, P.E.G. Avaliação da resistência de misturas de solo residual de basalto com resíduos de microesferas de vidro. **Holos**, Natal, v4, n.35, p. 1-20, 2019.

YASUDA, Y. et al. Development of walkway blocks with high water permeability using waste glass fiber-reinforced plastic. **AIMS Energy. Miyazaki**, v. 6, n.6, p. 1032-1049, 2018.