



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

STEFÂNIA LIMA OLIVEIRA METZKER

**QUALIDADE DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO COM A
INCLUSÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS E URBANOS**

**LAVRAS-MG
2019**

STEFÂNIA LIMA OLIVEIRA METZKER

**QUALIDADE DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO COM A INCLUSÃO DE RESÍDUOS
VEGETAIS E URBANOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Orientador

Prof. Dr. André Geraldo Cornélio Ribeiro

Coorientador

**LAVRAS-MG
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da
Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Metzker, Stefânia Lima Oliveira.

Qualidade de tijolos solo-cimento com a inclusão de resíduos
vegetais e urbanos / Stefânia Lima Oliveira Metzker. - 2019.

76 p. : il.

Orientador(a): Rafael Farinassi Mendes.

Coorientador(a): André Geraldo Cornélio Ribeiro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Compósitos. 2. Tijolo ecológico. 3. Materiais de reforço.
I. Mendes, Rafael Farinassi. II. Ribeiro, André Geraldo Cornélio.
III. Título.

STEFÂNIA LIMA OLIVEIRA METZKER

**QUALIDADE DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO COM A INCLUSÃO DE RESÍDUOS
VEGETAIS E URBANOS
QUALITY OF SOIL-CEMENT BRICKS WITH THE ADDITION OF PLANT AND
URBAN RESIDUES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos Lignocelulósicos para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2019.

Dra. Amélia Guimarães Carvalho - UFU
Dra. Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa - UFLA
Dra. Joelma Rezende Durão Pereira - UFLA
Dra. Marcela Gomes da Silva - UFRA

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Orientador

Prof. Dr. André Geraldo Cornélio Ribeiro

Coorientador

**LAVRAS-MG
2019**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por proteger e guiar os meus passos.

Aos meus queridos e amados pais, Cássia e Robson, pelo apoio, incentivo e amor de sempre.

Ao meu irmão Sávio, pelo carinho e amizade.

Ao meu marido Bráulio, pela ajuda, apoio, carinho e amor de sempre.

A minha mãe-avó Elza, pelo amor incondicional e proteção.

Às minhas grandes amigas, Cris, Débora e Bruna, pela amizade incondicional e incentivo.

Ao meu amigo, professor e orientador Dr. Rafael Farinassi Mendes, pelos ensinamentos, amizade, incentivo, paciência, compreensão e confiança nos trabalhos realizados.

Ao professor do comitê de orientação, Dr. André Geraldo Cornélio Ribeiro, pelos ensinamentos e amizade.

Aos meus amigos de laboratório, pela ajuda e companheirismo. Um agradecimento especial aos meus amigos Ticyane, Higor, Jhennifer e Alan, que sempre me ajudaram.

Aos técnicos de laboratório Arlei e Lorrán, pela ajuda nos trabalhos.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida.

Aos professores do programa em Engenharia de Biomateriais, pelos ensinamentos transmitidos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho com bons conselhos, incentivo e ajuda.

RESUMO

O tijolo solo-cimento é um material obtido por meio da mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas e que, após compactação e cura úmida, resulta num produto com características de durabilidade e resistência mecânica. Para a estabilização do solo, além da utilização do cimento, a melhor opção escolhida deve ser influenciada pela viabilidade econômica, finalidade da obra, características dos materiais e as propriedades do solo. A adição de materiais de reforço ao solo melhorado com cimento resultará em um material compósito mais resistente e mais dúctil. A inclusão de partículas no compósito influencia seu comportamento mecânico. Nesse contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar a inclusão de diferentes porcentagens e tipos de resíduos vegetais e urbanos na qualidade do tijolo solo-cimento. Foram avaliados os resíduos de eucalipto, pinus, pneu e PET nas porcentagens de 1,5 e 3,0% em massa seca. Foram caracterizados o solo (ensaio de retração, compactação, limites de consistência, análise granulométrica e análise química) e as partículas (caracterização morfológica, química e física) e, posteriormente, para a confecção dos tijolos, os constituintes foram pesados e misturados em uma batedeira planetária e adicionada água, realizando uma nova homogeneização. Esta mistura foi transferida para uma prensa automática para adquirir a forma de tijolos e os mesmos foram acondicionados sobre um piso plano e submetidos a ciclos de molhagem e secagem durante 7 dias. Os tijolos solo-cimento-partículas foram caracterizados quanto à suas propriedades de densidade, umidade, absorção de água, perda de massa por imersão, resistência à compressão, determinação do isolamento térmico e durabilidade. Não é recomendada a inclusão de 3,0% de material de reforço para os tijolos produzidos com eucalipto, pinus e pneu. A inclusão de 1,5% de eucalipto, 1,5% e 3,0% de PET promoveu a melhora significativa da resistência à compressão, atendendo ao mínimo estipulado pela norma de comercialização, mesmo após o ensaio de durabilidade. Esses tratamentos obtiveram absorção de água e perda de massa por imersão similares aos obtidos para o tratamento controle, e ainda obtiveram melhora significativa quanto ao isolamento térmico, sendo, portanto indicado para produção de tijolos solo-cimento reforçados.

Palavras-chave: Compósitos; Tijolo ecológico; Materiais de reforço; BTC.

ABSTRACT

Soil-cement bricks are obtained by homogeneously mixing soil, cement and water in suitable proportions. After compaction and wet curing, it results in a product with characteristics of durability and mechanical strength. For soil stabilization, besides the use of cement, the best choice option should be influenced by economic viability, the purpose of the work, the characteristics of the materials and the properties of the soil. The addition of reinforcement materials to soil improved with cement will result in a more resistant and ductile composite material. The addition of particles in the composite influences its mechanical behavior. In this context, the objective of this study was to evaluate the addition of different percentages and types of plant and urban waste in the quality of soil-cement bricks. Eucalyptus, Pinus, tire and PET residues were evaluated in percentages of 1.5 and 3.0% in dry mass. Both the soil (retraction, compaction, consistency limits, particle size analysis and chemical analysis) and the particles (morphological, chemical and physical characterization) were characterized. For the construction of the bricks, the constituents were weighed and mixed in a planetary mixer, followed by water addition and homogenization. This mixture was transferred to an automatic press to acquire the shape of bricks and they were packed on a flat floor and subjected to wet and dry cycles for 7 days. Soil-cement-particle bricks were characterized for their properties of density, moisture, water absorption, immersion loss, compressive strength, determination of thermal insulation and durability. It is not recommended to include 3.0% reinforcement material in bricks produced with Eucalyptus, Pinus and tire. The inclusion of 1.5% of Eucalyptus and 1.5% and 3.0% of PET promoted a significant improvement of the compressive strength, meeting the minimum values stipulated by the marketing standard, even after the durability test. These treatments obtained water absorption and loss of mass by immersion similar to those obtained for the control treatment. Moreover, there was significant improvement regarding thermal insulation, being therefore indicated for the production of reinforced soil-cement bricks.

Keywords: Composites; Ecologic brick; Reinforcing materials; BTC.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 - Tratamento com 1,5% de partículas de eucalipto (10x) (A); tratamento com 3,0% de partículas de eucalipto (10x).	38
Fig. 2 – Curvas de compactação para cada tratamento	39
Fig. 3 – Absorção de água das partículas de pinus e eucalipto	44
Fig. 4 – Comparação entre o tratamento com 1,5% de partículas de eucalipto (A) e o tratamento com 3,0% de partículas de eucalipto com característica de esfarelamento (B); ambos após o ensaio de absorção de água.	46
Fig. 5 - Tratamentos com 1,5% de partículas após o ensaio de envelhecimento.	48
Fig. 6 - Tratamento com 3,0% de partículas de PET (0,75x)	49
Fig. 7 - Ensaio de perda de massa por imersão em tijolos com 1,5% de partículas de eucalipto (A) e 3,0% de partículas de eucalipto (B).	57
Fig. 8 - Valores médios de condutividade térmica obtidos para as partículas de pinus, eucalipto, PET e pneu	64
Fig. 9 - Valores médios de condutividade térmica para as porcentagens de 1,5% e 3,0%	65
Fig. 10 - Condutividade térmica dos tijolos solo-cimento-partículas	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Subdivisão dos solos finos	16
Tabela 2	Classificação granulométrica	17
Tabela 3	Faixas granulométricas consideradas ideais para o tijolo solo-cimento	18
Tabela 4	Características adequadas do solo para a produção do tijolo solo-cimento	18
Tabela 5	Classificação de solos AASHTO	19
Tabela 6	Tipos de cimento	21
Tabela 7	Teor de cimento sugerido para a compactação	23
Tabela 8	Análises químicas e metodologias que foram utilizadas para a caracterização química das partículas	30
Tabela 9	Análises físicas e metodologias que foram utilizadas na madeira	30
Tabela 10	Delineamento experimental	31
Tabela 11	Características do solo coletado	34
Tabela 12	Classificação do solo	35
Tabela 13	Análise química do solo	35
Tabela 14	Valores de umidade ótima e w_d máximo	37
Tabela 15	Limites de consistência	39
Tabela 16	Análise granulométrica do solo corrigido	40
Tabela 17	Caracterização morfológica das partículas de eucalipto, pinus, PET e pneu	41
Tabela 18	Análise química das partículas de eucalipto e pinus	42
Tabela 19	Análise física das partículas de eucalipto e pinus	43
Tabela 20	Valores médios de densidade e umidade dos tijolos solo-cimento antes e após o envelhecimento acelerado	45
Tabela 21	Valores médios de densidade dos tijolos, antes do ensaio de durabilidade, em função da porcentagem e do tipo de material	46
Tabela 22	Valores médios de densidade dos tijolos, após o envelhecimento, em função da porcentagem e do tipo de material	47
Tabela 23	Valores médios de umidade e grau de compactação dos tijolos solo cimento	50

Tabela 24	Valores médios de umidade dos tijolos em função do tipo e da porcentagem de material	51
Tabela 25	Valores médios de absorção de água antes e após o ensaio de durabilidade	53
Tabela 26	Valores médios de absorção de água em função do tipo e da porcentagem de material	54
Tabela 27	Valores médios de absorção de água após o envelhecimento em função do tipo e da porcentagem de resíduo	55
Tabela 28	Valores médios de perda de massa por imersão antes e após o envelhecimento	56
Tabela 29	Valores médios de perda de massa por imersão, antes do ensaio de durabilidade, de acordo com o tipo e a porcentagem de material	58
Tabela 30	Valores médios de perda de massa por imersão após o envelhecimento de acordo com o tipo e a porcentagem de resíduo	59
Tabela 31	Valores médios de resistência à compressão dos tijolos solo-cimento-partículas	60
Tabela 32	Valores médios de resistência à compressão antes do envelhecimento de acordo com o tipo e a porcentagem de partículas	62
Tabela 33	Valores médios de resistência à compressão após o envelhecimento de acordo com o tipo e a porcentagem de resíduo	62
Tabela 34	Valores médios de condutividade térmica dos tijolos solo-cimento-partículas	63

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Tijolo solo-cimento	15
2.1.1	Matéria-prima utilizada	16
2.1.1.1	Solo	16
2.1.1.2	Cimento	21
2.1.1.3	Materiais de reforço	24
2.1.1.3.1	Pinus e Eucalipto	25
2.1.1.3.2	Garrafas PET	25
2.1.1.3.3	Resíduos de pneu	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	Matérias-primas	27
3.1.1	Solo, cimento e partículas	27
3.2	Caracterização do solo	28
3.2.1	Ensaio de retração	28
3.2.2	Compactação	28
3.2.3	Limites de consistência	29
3.2.4	Análise granulométrica e química	29
3.3	Caracterização das partículas	29
3.3.1	Caracterização morfológica	29
3.3.2	Caracterização química e física das partículas vegetais	29
3.4	Moldagem dos corpos de prova	30
3.5	Caracterização dos tijolos solo-cimento-partículas	31
3.5.1	Densidade e umidade	31
3.5.2	Absorção de água	31
3.5.3	Perda de massa por imersão	32

3.5.4	Resistência à compressão	32
3.5.5	Determinação do isolamento térmico	32
3.5.6	Ensaio de durabilidade	33
3.5.7	Microscopia	33
3.5.8	Análise estatística	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	Caracterização do solo	34
4.1.1	Classificação do solo	34
4.1.2	Análise química	35
4.1.3	Ensaio de retração	36
4.1.4	Compactação	36
4.1.5	Limites de consistência	39
4.1.6	Análise granulométrica	40
4.2	Caracterização das partículas	41
4.2.1	Caracterização morfológica	41
4.2.2	Caracterização química	42
4.2.3	Caracterização física	43
4.2.3.1	Absorção de água	44
4.3	Caracterização dos tijolos solo-cimento-partículas	45
4.3.1	Caracterização física	45
4.3.1.1	Densidade antes e após o ensaio de durabilidade	45
4.3.1.2	Umidade e grau de compactação	49
4.3.1.3	Absorção de água antes e após o ensaio de durabilidade	52
4.3.1.4	Perda de massa por imersão antes e após o ensaio de durabilidade	56
4.3.2	Resistência à compressão antes e após o ensaio de durabilidade	60
4.3.3	Isolamento térmico	63
5	CONCLUSÕES	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

A construção em terra é antiga e amplamente utilizada pelo homem em todo o mundo. As construções em terra estão presentes desde que o homem sentiu necessidade de construir seu abrigo, ao invés de usar apenas aqueles oferecidos pela natureza (SOARES et al. 1996). Em locais onde era difícil se obter pedras, os muros foram erguidos com o emprego dos materiais disponíveis, principalmente a terra e a madeira.

Hoje, a construção civil tem adquirido novos conceitos devido a necessidade de preservação ambiental e a tendência de escassez dos recursos naturais, o que visa à sustentabilidade de suas atividades, utilizando uma gama de soluções eficazes, além das técnicas conhecidas na bioconstrução, que podem ser incorporadas para a realidade da moradia humana (SOUZA et al. 2007).

O tijolo solo-cimento é um material obtido por meio da mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas e que, após compactação e cura úmida, resulta num produto com características de durabilidade e resistências mecânicas definidas (MOTTA et al. 2014). Para Segatini & Wada (2011), os tijolos solo-cimento são uma alternativa em sintonia com a sustentabilidade, uma vez que solicitam baixo consumo de energia na extração do solo e não necessitam do processo de queima. Segundo dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE (2019), em estudos realizados em todo o Brasil, os tijolos ecológicos trazem para a obra de 20 a 40% de economia com relação à construção convencional. Mota et al. (2010) mencionam alguns benefícios do tijolo solo-cimento como, por exemplo, a resistência à compressão equiparando-se à do tijolo convencional e suas características isolantes.

Desta forma, a crise energética mundial tem motivado o desenvolvimento de pesquisas sobre a utilização de resíduos na construção civil, exigindo menor demanda de energia, criando possibilidades no avanço da questão habitacional por meio da redução do uso e do custo de materiais. Um exemplo é o uso de materiais de construção civil à base de cimento reforçado com partículas, que está aumentando rapidamente, principalmente nos países desenvolvidos. Cristelo et al. (2015) observaram que a mistura de solos arenosos, cimento e fibras tende a aumentar a resistência mecânica do material compósito.

A adição de materiais de reforço ao solo com cimento pode resultar em um material compósito mais resistente e mais dúctil (SPECHT et al. 2002). Com relação a inclusão de partículas vegetais, é importante verificar a compatibilidade entre o cimento e a madeira, uma vez que esta diminui quanto maior for a porcentagem adicionada (PARK, 2008; FAN et al. 2012), o que pode prejudicar as propriedades mecânicas do produto final (GARCEZ et al. 2016). Desta forma, é de suma importância avaliar o tipo e a porcentagem adequada de partículas a serem adicionadas aos tijolos solo-cimento. Existe uma extensa variedade de resíduos vegetais e industriais que podem ser incorporados aos tijolos, a fim de aperfeiçoar algumas propriedades, como o isolamento térmico, e promover interesse econômico e social, além de agregar valor ao produto final, mantendo sua qualidade e aproveitando resíduos que antes seriam descartados, possibilitando também a diminuição do impacto ambiental. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a inclusão de diferentes porcentagens e tipos de resíduos vegetais e urbanos na qualidade do tijolo solo-cimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Tijolo solo-cimento

O tijolo é a matéria-prima básica da construção civil, independente da classe social, tipo de construção ou local, pois está presente na maioria das edificações. Entretanto, para a fabricação do tijolo convencional é necessário o seu cozimento em fornos nas olarias, queimando muita lenha, e proporcionando poluição ambiental e elevado consumo energético (AGRAFIOTIS & TSOUTSOS, 2001).

Segundo Torgal & Jalali (2011), um produto de grande relevância para substituição do tijolo convencional, a fim de minimizar o consumo energético, é o tijolo solo-cimento, que não necessita de queima na etapa de cura, pois neste processo utiliza apenas secagem natural, além de ser um material alternativo.

O solo-cimento é um tijolo prensado feito basicamente de solo, cimento e água. Os tijolos solo-cimento não são queimados como os tijolos comuns, portanto não consomem combustíveis durante a sua fabricação, gerando menos impacto sobre o meio ambiente. Além do mais, a queima emite CO₂ para a atmosfera, o que gera aumento do efeito estufa. Este tijolo apresenta bom acabamento, sendo possível seu uso sem acabamento superficial (PROMPT, 2008).

De acordo com Souza et al. (2007), o solo está presente em maior proporção neste material, e o cimento é utilizado em menor quantidade, a fim de estabilizar o solo, processo no qual o mesmo se torna mais resistente à deformação do que o material primitivo (FERREIRA & OLIVEIRA, 2007; ALBUQUERQUE et al. 2008).

Ao produzir os tijolos, o solo é misturado ao cimento e à água em dosagens apropriadas, até atingir o nível ideal de umidade. Esta mistura é depositada em uma prensa, onde o tijolo é retirado já prensado. Posteriormente, ao invés de serem levados ao forno, como é o caso dos tijolos de barro cozido, os tijolos solo-cimento são produzidos a frio, devendo ser curados por sete dias à sombra, evitando que trinquem, ficando assim prontos para serem utilizados (CASANOVA, 2004).

Este material é uma solução simples, prática e avançada que permite uma considerável redução dos custos de construção, visto que utiliza o solo da própria obra e dispensa o uso de equipamentos sofisticados (MOTA et al. 2010).

De acordo com Montardo et al. (2001) já era do conhecimento de povos da antiguidade a inclusão de elementos de reforço nos solos a fim de melhorar suas propriedades.

Como exemplo, pode-se citar a utilização de lã de lhama misturada ao solo na construção de estradas resistentes ao tempo, realizada pelos Incas, e também as aplicações de mantas de folhas e galhos sobre camadas de solos moles, antes da construção de aterros.

2.1.1 Matéria-prima utilizada

2.1.1.1 Solo

Segundo Pinto (1998), os solos podem ser definidos por um conjunto de partículas sólidas provenientes da desagregação de rochas por ações físicas e químicas, com água (ou outro líquido) e ar, ou ainda ambos, em seus espaços intermediários.

A formação dos solos, conforme Cytryn (1957) é causada por fatores como agentes atmosféricos, água, variações de temperatura e decomposições químicas, que continuamente atacam a superfície terrestre. Esses agentes transformam as rochas em solo.

O solo pode ser subdividido em frações de acordo com o tamanho e a forma de seus constituintes. Segundo a NBR 6502 (ABNT, 1995), os solos finos podem se subdividir em dois grandes grupos, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Subdivisão dos solos finos.

Siltes	Argilas
Pouca ou nenhuma plasticidade	Partículas microscópicas
0,002 mm a 0,06 mm	0,002 mm
-	Contém sílica em sua forma coloidal
-	Óxidos de fórmula geral R_2O_3

Fonte: NBR 6502 (ABNT, 1995).

De acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995), os solos podem ser classificados por meio de análise granulométrica, segundo as dimensões dos seus grãos ou partículas, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação granulométrica.

Descrição	Diâmetro das partículas (mm)
Argila	< 0,002
Silte	0,002 a 0,06
Areia fina	0,06 a 0,2
Areia média	0,2 a 0,6
Areia grossa	0,6 a 2,0
Pedregulho fino	2,0 a 6,0
Pedregulho médio	6,0 a 20,0
Pedregulho grosso	20,0 a 60,0
Pedra-de-mão	60,0 a 200,0
Matacão	200,0 a 1000,0

Fonte: NBR 6502 (ABNT, 1995).

Os solos adequados são os chamados solos arenosos, ou seja, aqueles que apresentam uma quantidade de areia na faixa de 60% a 80% da massa total da amostra (FERREIRA FILHO, 2015). Para Souza et al. (2007), estes solos são mais indicados para a produção dos tijolos solo-cimento por proporcionarem valores de resistência apropriados com baixo consumo de cimento. Entretanto, quando este tipo de solo não for encontrado, pode-se fazer uma correção granulométrica no solo encontrado (70% de areia e 30% de silte e argila), misturados uniformemente e peneirados, obtendo-se o mesmo resultado (FERREIRA FILHO, 2015).

Segundo Pinto (1980) o solo ideal deve conter 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho, sendo que os solos arenosos bem graduados e com razoável quantidade de silte mais argila são os mais indicados; já a *Portland Cement Association* (PCA, 1969) considera excelentes os solos arenosos que possuem teor de areia entre 45 e 50%.

Alguns dados da literatura citam as porcentagens de areia, silte e argila que o solo considerado ideal para a utilização no tijolo solo-cimento deve apresentar. Segantini (2000) expõe, na Tabela 3, as faixas de granulometria do solo consideradas ideais.

Tabela 3 – Faixas granulométricas consideradas ideais para o tijolo solo-cimento.

Referências	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Silte + Argila (%)	LL (%)
CINVA (1963)	45 – 80	-	-	20 – 25	-
ICPA (1973)	60 – 80	10 – 20	5 – 10	-	-
MAC (1975)	40 – 70	< 30	20 – 30	-	-
CEPED (1984)	45 – 90	-	< 20	10 – 55	45 – 50
PCA (1969)	65	-	-	10 – 35	-

Fonte: SEGANTINI (2000).

Observa-se que há uma grande variação na porcentagem de areia ideal contida no solo, entretanto, conforme análise destes valores, a faixa ideal de areia deve ser entre 40 e 80%. Mesmo avaliando a porcentagem de areia contida no solo, os mais adequados para a fabricação de solo-cimento são os que possuem as características geotécnicas apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Características adequadas do solo para a produção do tijolo solo-cimento.

Características	Tijolos solo-cimento (NBR 10833/2012)
% passando na peneira ABNT com abertura 4,75 mm	100%
% passando na peneira ABNT 75µm (n° 200)	10 – 50%
Limite de Liquidez	≤ 45%
Índice de Plasticidade	≤ 18%

Fonte: NBR 10833 (ABNT, 2012).

Para a classificação de solos é necessário adotar a AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), que pode ser visualizada na Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação de solos AASHTO.

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira n°200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira n°200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Peneiração: % que passa:											
n° 10	50 máx.										
n° 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
n° 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa n°40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 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: Classificação Rodoviária HRB (2017).

Para compactar o solo é necessário que suas partículas sejam forçadas a agruparem-se mais estreitamente, reduzindo os vazios de ar. Segundo Milani & Freire (2006), há uma relação existente entre as propriedades físico-mecânicas do sistema solo-aglomerante compactado com a densidade, pois, quanto menos vazios no sistema, melhor a interação entre solo-aditivo e, conseqüentemente, maiores as resistências alcançadas.

Esta compactação geralmente é realizada por meios mecânicos (BLUCHER, 1951). R. Proctor (1933) estudou os princípios da Mecânica dos Solos e verificou que a densidade de um solo compactado é função do teor de umidade no momento da compactação. Assim, a quantidade de material e a porcentagem de água utilizadas na prensagem dos tijolos serão determinadas com base na umidade ótima e na densidade seca máxima da mistura, encontradas por meio da realização do ensaio de compactação Proctor Normal. Porém, no ensaio a carga é aplicada de maneira dinâmica, enquanto que na prensa a compactação é praticamente estática, dessa forma muitas vezes a umidade adotada difere da umidade encontrada em laboratório (BARBOSA et al. 2017).

Resumidamente, Proctor observou que, para uma energia de compactação constante, ao se adicionar água ao solo, sua densidade aparente aumentava até certo ponto, denominada umidade ótima, entretanto, crescendo teores de umidade acima do ótimo, a densidade reduzia devido ao excesso de água, sendo que essa absorvia parte da energia de compactação e redistribuía ao sistema, afastando as partículas sólidas.

Segundo Grande (2003), solos com maiores quantidades de finos, quando compactados, necessitam de maiores teores de água para atingirem a umidade ótima devido à maior área superficial do solo.

No trabalho realizado por Pinheiro & Soares (2010), com o objetivo de avaliar a possibilidade de utilização de solos arenosos da região de Santa Maria - RS na confecção de tijolos de solo-cimento em prensas manuais, foi observado que, solos com percentuais de 70-85% de areia forneceram melhores resultados. Entretanto, os autores relatam que há a necessidade da coesão apresentada pelas argilas com percentuais entre 5-10%, com presença não superior a 20% de silte.

O uso do solo apenas compactado apresenta boas qualidades isolantes e resistentes, contudo é vulnerável à umidade e sofre erosão devido à ação do intemperismo externo. Daí a necessidade de se estabilizar o solo para adequá-lo ao uso que se pretende. Existem diversos

tipos de estabilização, dentre eles pode ser citada: compactação do solo; adição de componentes que irão reagir quimicamente, como o cimento (PRESA, 2011).

2.1.1.2 Cimento

O cimento Portland é um pó fino que apresenta propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que quando sob ação da água, endurece. É obtido pela moagem do clínquer, com adição de gesso (para regular o tempo de início de hidratação ou o tempo inicial de pega) e outras substâncias que determinam o tipo de cimento (GRANDE, 2003). É um dos materiais estruturais que apresenta boa resistência à compressão e boa durabilidade, sendo muito importante na construção (NORTON, 1973).

No Brasil são produzidos diversos tipos de cimento Portland, como o CP-I, CP-II, CP-III, CP-IV e CP-V ARI. Após os algarismos romanos na nomenclatura do cimento, encontram-se alguns números, que significam a resistência mínima à compressão após 28 dias de cura, como 25, 32 e 40 MPa, conforme a Tabela 6 (Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP, 2017).

Tabela 6 – Tipos de cimento.

Tipo de cimento	Adições	Sigla	Utilização
Cimento Portland Comum	Escória, pozolana ou fíler (até 5%)	CP I-32 CP I-S-40	Uso em construções de concreto em geral sem exposição a sulfatos do solo ou águas subterrâneas
Cimento Portland Composto	Escória (6 – 34%) Pozolana (6 – 14%) Fíler (6 – 10%)	CP II-E-32 CP II-Z-32 CP II-F-40	Recomendado para obras correntes de engenharia civil sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido e elementos pré-moldados
Cimento Portland de Alto-Forno	Escória (35 – 70%)	CP III-40	Aplicação geral na construção civil
Cimento Portland Pozolânico	Pozolana (15 – 50%)	CP IV-32	Especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos
Cimento Portland	Materiais carbonáticos	CP V-ARI	Utilizado no preparo de concreto

de Alta Resistência Inicial	(até 5%)	e argamassa em obras desde as pequenas construções até as edificações de maior porte, e em todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada
Cimento Portland Resistente aos Sulfatos	Cimentos designados pela sigla RS. Ex.: CP III-40 RS	Utilizado em locais onde é necessário resistência aos meios agressivos sulfatados, como redes de esgotos de águas servidas ou industriais

Fonte: ABCP (2017).

No solo-cimento, assim como em concretos e argamassas, a natureza do cimento deve ser considerada para a proposta de desenvolvimento de pesquisas que visam melhorar o desempenho desse material (GRANDE, 2003).

Segundo Grande (2003) e Presa (2011), as seguintes vantagens são obtidas com a adição de cimento ao solo:

- Absorção e perda do material não causam variações volumétricas consideráveis;
- Não ocorre deterioração do material, quando submerso em água;
- Aumento da resistência à compressão;
- Mais durável, por possuir menor permeabilidade.

De acordo com a norma NBR 8491 (ABNT, 2012), o valor médio para resistência à compressão de tijolos solo-cimento deve ser maior ou igual a 2,0 MPa, e o valor individual não pode ser menor que 1,7 MPa.

Segundo a ABCP (1986), o teor de cimento a ser adicionado a mistura do tijolo solo-cimento deve ser de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 – Teor de cimento sugerido para a compactação.

Classificação HRB	Teor de cimento em massa
A1-a	5
A1-b	6
A2	7
A3	8
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fonte: ABCP (1986).

A norma ASTM D 3282 (ASTM, 2015) classifica os solos do grupo A1 como uma mistura classificada de fragmentos de pedra ou cascalho, areia grossa, areia fina e um aglutinante de solo não plástico ou pouco plástico. O grupo A2 inclui uma grande variedade de materiais granulares contendo 35% ou menos passando na peneira n° 200 (75 µm). O material do grupo A3 é composto de areia fina sem argila e com uma quantidade muito pequena de silte não plástico. O material do grupo A4 é um tipo de solo moderadamente plástico, com 75% ou mais passando na peneira n° 200 (75 µm). O solo do grupo A5 é semelhante ao descrito no Grupo A4, diferindo por ser altamente elástico. O grupo A6 é composto por um solo de argila plástica com 75% ou mais passando na peneira n° 200 (75 µm). Este grupo também inclui misturas de argila fina com até 64% de areia e cascalho retidos na peneira n° 200. Já o material do grupo A7 é semelhante ao descrito no Grupo A6, exceto por apresentar limites líquidos elevados característicos do Grupo A5 e por serem elásticos.

Observa-se que o cimento é um dos principais estabilizadores minerais disponíveis para uso na estabilização do solo e atua protegendo o material da ação da água. Dependendo da distribuição granulométrica, a quantidade de cimento varia para uma boa resistência do material. Quando o solo tem maior conteúdo de argila, maior deverá ser a quantidade do elemento estabilizante para atingir níveis adequados (PRESA, 2011). Miller & Azad (1998) avaliaram a influência do cimento Portland como estabilizadores de solo e notaram melhoria na resistência mecânica à compressão e reduções do índice de plasticidade em solos argilosos.

Para Lopes (2002), ao incorporar o cimento ao solo, suas partículas envolvem fisicamente os grânulos do solo formando agregados que, à medida que processam a hidratação e cristalização do cimento, aumentam de tamanho, o que permite a obtenção de um material que não apresente grandes variações de volume e não se deteriore quando submerso em água, aumentando a resistência a compressão e, com a diminuição da permeabilidade aumenta a durabilidade.

Miranda et al. (2007) avaliaram a aplicação de resíduo gerado no beneficiamento de mármore e granito em tijolos solo-cimento produzidos em uma prensa manual. Os autores adicionaram porcentagens de 0, 10, 15 e 30% de resíduos em massa e 5, 10 e 15% de cimento. Observou-se que o teor de cimento foi decisivo em relação ao aumento da resistência à compressão dos tijolos. Assim, quanto maior a porcentagem de cimento, maior a resistência mecânica, independente da adição ou não de resíduo. Somente os tijolos confeccionados com 5% de cimento não obtiveram os valores mínimos para resistência à compressão instituídos pela NBR 8491 (ABNT, 2012).

Além da utilização do cimento para a estabilização química do solo, a fim de modificar suas propriedades ou por reação físico-química entre os grãos e o material, ou criando uma matriz que aglutina e cobre os grãos, os materiais mais utilizados para este tipo de estabilização são cal, betume e fibras (SILVA, 2001; GRANDE, 2003).

2.1.1.3 Materiais de reforço

Guimarães (1998) relata que para a estabilização do solo a melhor opção escolhida deve ser influenciada pela viabilidade econômica, finalidade da obra, características dos materiais e as propriedades do solo que deseja corrigir.

Segundo Mattoso et al. (1999) e Caraschi & Leão (2001), existe uma grande variedade de fibras vegetais com diferentes propriedades químicas, físicas e mecânicas no Brasil. Atualmente, as fibras vegetais possuem diversas aplicações industriais e comerciais em muitas atividades cotidianas fundamentais à economia, saúde humana e animal, construção civil, vestuário, cosméticos, indústria automobilística e muitas outras aplicações que se expandem pelas novas pesquisas e descobertas (HENDGES, 2010).

A utilização pela construção civil de resíduos gerados em outros setores da economia é vantajosa não apenas em virtude do aumento da atividade industrial e, conseqüentemente, de subprodutos, mas, sobretudo, devido à redução da disponibilidade de matérias-primas não

renováveis, tão necessárias às atividades da construção civil convencional. Grande parte dos resíduos gerados pode ser reciclada, reutilizada, transformada e incorporada, de modo a produzir novos materiais de construção e atender à crescente demanda por tecnologia alternativa de construção mais eficiente, econômica e sustentável (JOHN, 2007).

2.1.1.3.1 Pinus e Eucalipto

O uso de produtos procedidos da madeira pode ser considerado uma opção para emprego na indústria da construção civil, diversificando produtos e processos. De acordo com dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2017), a área de árvores plantadas de eucalipto ocupa 5,7 milhões de hectares e está localizado, principalmente, em Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%), enquanto a área de árvores plantadas de pinus ocupa 1,6 milhão de hectares e encontram-se no Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%).

Valério et al. (2007) mencionam que, uma consequência natural do processo de transformação da madeira, é a geração de resíduos na indústria florestal. Os autores relatam que, se não tratado corretamente, estes resíduos podem causar grande impacto ao meio ambiente. Para Jara (1987), a maior quantidade de resíduos é gerada por meio do desdobro das toras, estimada em 50% do volume total processado. Fontes (1994) descreve que, de 50 a 70% do volume de madeira em tora consumida na indústria madeireira, é transformado em resíduos.

Apesar do uso de resíduos florestais serem uma boa opção para o emprego em tijolos solo cimento, existe uma desvantagem, citada por Beraldo & Pimentel (1999) e por Beraldo & Carvalho (2000) que está relacionada à incompatibilidade química entre a biomassa vegetal e o cimento. A constituição química da biomassa vegetal possui açúcares, resinas, fenóis e amido, que pode afetar a hidratação do cimento, contudo, este ponto negativo não inviabiliza a utilização de determinado resíduo. A mistura contém grande quantidade de solo que pode minimizar a influência negativa da constituição química dos resíduos florestais.

2.1.1.3.2 Garrafas PET

Dentre os resíduos sólidos urbanos recicláveis, os plásticos apresentam destaque, uma vez que são principalmente utilizados na área de embalagens e o seu descarte é muito rápido (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005). A reutilização de plástico é muito relevante devido a

composição deste material, que é de origem de derivados de petróleo, fonte não renovável e o gasto de energia para a sua produção é muito grande (BARROS, 2012).

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria PET – ABIPET (2018), a taxa de reciclagem no ano de 2015 foi de 51%, ou seja, os 49% restantes viraram resíduos.

Com relação ao PET, politereftalato de etileno, termoplástico, é utilizado em frascos de refrigerantes, de produtos de limpeza e farmacêuticos, em fibras sintéticas, etc. De acordo com a ABIPET (2017), a indústria é relativamente recente, datando de 20 anos.

Desde os anos 2000 até 2010 houve um aumento na reciclagem deste material. O consumo de garrafas PET também aumentou, cerca de 5% entre 2007 e 2011 e 8% entre 2011 e 2016 (ABIPET, 2017).

A transformação do PET reciclado pode ser acontecer de distintas maneiras, conforme a utilização final. Vários setores utilizam o PET reciclado, como vestuário, mantas, vassouras, varal, materiais de escritório, construção civil, além das indústrias de automóveis e comunicação (ABIPET, 2017).

Com relação a utilização do PET reciclado na construção civil, pode-se citar que já são empregados em caixas d'água, tubos e conexões, torneiras, piscinas, telhas, mármore sintético, tintas e vernizes (ABIPET, 2017). Alguns estudos têm sido realizados com aproveitamento do PET reciclado em argamassas (CANELLAS, 2005), agregados para concreto (CAPANEMA et al. 2014), produção de blocos (PAULA, 2010), dentre outros, apresentando bons resultados.

2.1.1.3.3 Resíduos de pneu

De acordo com a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP (2017), em 2016 foram produzidos no Brasil 70,7 milhões de unidades de pneu.

Aproximadamente 450 mil toneladas de pneus são descartadas por ano no Brasil. Este descarte, quando realizado de forma incorreta, transformam os pneus em um problema para o meio ambiente, sendo que, para se decomporem na natureza, levam, em média, 600 anos, além de servirem de criadouros do mosquito *Aedes aegypti*, transmissor da dengue, da zika e da chikungunya. Assim, é necessário promover a destinação correta para os pneus inutilizáveis, evitando danos ao meio ambiente e à saúde pública (SERVIÇO SOCIAL DO TRANSPORTE - SEST, 2017; SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM DO

TRANSPORTE – SENAT, 2017). Uma forma de minimizar este excedente é incrementá-lo em misturas de solo, cimento e água, denominado tijolo solo-cimento.

Dados da Reciclanip, entidade que reúne as maiores fabricantes de pneus no Brasil, demonstram que, em dez anos, o descarte correto deste material evitou que mais de 3,7 milhões de toneladas fossem destinados incorretamente (SEST, 2017; SENAT, 2017).

O recolhimento dos pneus é uma prática obrigatória. As normas ambientais estabelecem que as empresas são obrigadas a recolher, pelo menos, 70 quilos de pneus velhos para cada 100 quilos que são colocados à venda ao consumidor no mercado doméstico (SERVIÇO SOCIAL DO TRANSPORTE - SEST, 2017; SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM DO TRANSPORTE – SENAT, 2017).

Algumas pesquisas já estão sendo realizadas a fim de verificar a utilização das fibras de pneu em compósitos cimentícios (PEREIRA et al. 2015; BENSO et al. 2014; CRUZ, 2004; dentre outros). Batayneh, Marie & Asi (2008) relatam que a utilização de borracha em misturas cimentícias promove o aumento da sua capacidade de deformação sem o surgimento de fissuras. As fibras de borracha, por ser um material altamente elástico, atuam como obstáculos para a propagação de fissuras.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matérias-primas

3.1.1 Solo, cimento e partículas

O solo foi coletado na Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG (21°14'7" S, 44°58'21" O), e passou por um processo de peneiramento para eliminação de materiais que poderiam interferir no momento da moldagem. A norma NBR 10833 (ABNT, 2012) fixa as condições necessárias para a produção de tijolos solo-cimento utilizando prensas manuais. Assim, o solo deve atender às seguintes características: 100% passando na peneira de 4,75 mm (n° 4) e de 10% a 50% passando na peneira de 75 µm (n° 200).

Com relação ao cimento, foi usado o CPII-E-32 por possuir propriedades satisfatórias para confecção de solo-cimento, além disso, os cimentos Portland compostos (CP II) são os mais utilizados, sendo facilmente encontrados no mercado, respondendo por aproximadamente 75% da produção industrial brasileira (MENDES et al. 2014).

Foram utilizadas partículas vegetais de pinus e eucalipto, provenientes do processo de laminação realizado na Universidade Federal de Lavras e, tais partículas foram escolhidas

devido à abundância e seu baixo custo, sendo possível sua utilização em uma escala maior para produção dos compósitos, caso a viabilidade seja comprovada pelo estudo. Também foram utilizados resíduos urbanos, como garrafas PET transformadas em partículas, adquiridas de uma empresa de reciclagem da cidade de São Carlos/SP, e resíduos de pneu, fornecidos pela empresa BKERP Reformadora de Pneus da cidade de Lavras/MG, os quais também foram escolhidos em função do volume de resíduos obtidos. Tanto os resíduos vegetais quanto os resíduos urbanos foram classificados em peneiras para descarte dos finos.

3.2 Caracterização do solo

3.2.1 Ensaio de retração

O ensaio de retração foi realizado de acordo com os procedimentos descritos pelo CEPED (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, 1984) a fim de verificar, na composição dos solos, a presença de argilas expansivas que tendem a comprometer o desempenho do material em razão da retração na secagem.

A amostra de solo foi umedecida até a obtenção de um material de consistência plástica, similar a uma argamassa de emboço, sendo então colocada dentro de uma caixa com 60,0 cm de comprimento, 8,5 cm de largura e 3,5 cm de espessura. Após a realização do adensamento manual o material ficou em repouso à sombra durante sete dias; posteriormente foi medida a retração no sentido do comprimento da caixa, sendo que a soma das leituras deve ser inferior a 20 mm e a amostra não deve, após os sete dias, apresentar nenhuma fenda transversal na parte central da amostra.

3.2.2 Compactação

O ensaio de compactação do tipo Proctor Normal foi realizado para obtenção dos valores de umidade ótima e de massa específica aparente seca máxima. A umidade ótima é um parâmetro muito importante nos trabalhos realizados com solos, pois propicia melhores condições de trabalhabilidade e máxima compactação do material, proporcionando maiores valores de densidade, resistência e, certamente, maior durabilidade. Os ensaios de compactação foram realizados em conformidade com as normas NBR 7182 (ABNT, 2016) e NBR 12023 (ABNT, 2012).

3.2.3 Limites de consistência

Para determinação dos limites de consistência foram seguidos os procedimentos descritos pelas normas NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016). Os limites de consistência são as variáveis que melhor expressam as condições de trabalhabilidade dos solos. Valores elevados podem conduzir a maiores dificuldades na secagem e no destorroamento e também no processo de mistura dos componentes (SOUZA et al. 2007). Para obtenção do índice de plasticidade, foi utilizada a equação (1).

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

em que:

IP = índice de plasticidade

LL = limite de liquidez, correspondente à norma NBR 6459 (ABNT, 2016);

LP = limite de plasticidade.

3.2.4 Análise granulométrica e química

O ensaio para a determinação da composição granulométrica do solo foi realizado segundo as prescrições da NBR 7181 (ABNT, 2016).

Para a caracterização do solo, foram realizadas análises químicas, que além das determinações de pH (em água na proporção de 1: 2,5), foram efetuadas análises de Ca, Mg, P, K e Na, sendo os teores de Ca e Mg determinados empregando complexometria, K e Na por fotometria de chama e P disponível por espectrofotometria do Visível, com leitura em comprimento de onda 660 μm , seguindo as recomendações da EMBRAPA (BRASIL, 1997).

3.3 Caracterização das partículas

3.3.1 Caracterização morfológica

A caracterização morfológica das amostras foi realizada com auxílio do *software Image J*. Foram realizadas 30 leituras para a obtenção da largura e 30 leituras para a obtenção do comprimento, para cada partícula. Posteriormente, foi calculado o índice de esbeltez, relação entre o comprimento e a largura da partícula.

3.3.2 Caracterização química e física das partículas vegetais

Para a caracterização química, as amostras foram transformadas em serragens por meio de um moinho de rotor tipo *Willey*. A serragem foi classificada em peneiras de 40 e 60

mesh, sendo utilizada a fração retida na peneira de 60 mesh, que posteriormente foram acondicionadas em uma sala climatizada a 20°C e 65% de umidade relativa, objetivando sua umidade de equilíbrio. As análises químicas das partículas foram realizadas conforme metodologias apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Análises químicas e metodologias que foram utilizadas para a caracterização química das partículas.

Análises químicas	Metodologias
Extrativos totais	NBR 14853 (ABNT, 2017)
Lignina	NBR 7989 (ABNT, 2010)
Holocelulose	[100-(LT + ET + CZ)]*
Teor de cinza	NBR 13999 (ABNT, 2017)

*LT=lignina total; ET=extrativos totais; CZ=cinzas

Fonte: Do autor (2019).

Foram realizadas análises físicas das partículas conforme metodologias apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Análises físicas e metodologias que foram utilizadas na madeira.

Análises físicas	Metodologias
Densidade aparente	NBR 14984 (ABNT, 2003)
Densidade básica	NBR 11941 (ABNT, 2003)
Absorção máxima de água	ASTM D-570/98 (2018)
pH	pH-metro digital

Fonte: Do autor (2019).

3.4 Moldagem dos corpos de prova

Para a obtenção dos tijolos solo-cimento foi utilizado o delineamento experimental descrito na Tabela 10.

Tabela 10 - Delineamento experimental.

Tratamentos	Porcentagem de reforço (%)	Cimento (%)	Solo (%)
Sem reforço	-	10	90
Pinus			
Eucalipto	1,5 e 3,0	10	90
PET			
Pneu			

Fonte: Do autor (2019).

Para a confecção dos tijolos, os constituintes foram pesados e misturados em uma batedeira planetária, a fim de obter uma massa uniforme. Posteriormente, foi adicionada água realizando uma nova homogeneização e esta mistura foi transferida para uma prensa automática para adquirir a forma de tijolos. A fabricação dos tijolos de solo-cimento-partículas seguiu as recomendações da (ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland-Boletim Técnico 112, 1988; Estudo Técnico 35, 1986). Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 20 x 9,5 x 5 cm (comprimento, largura e espessura).

Posteriormente a produção dos tijolos solo-cimento, os mesmos foram acondicionados sobre um piso plano à sombra e em local coberto e protegido, conforme indicação da ABCP (1985). Os tijolos foram submetidos a ciclos de molhagem diária, durante 7 dias consecutivos.

3.5 Caracterização dos tijolos solo-cimento-partículas

A caracterização dos tijolos solo-cimento-partículas foi realizada após o período de cura de 28 dias.

3.5.1 Densidade e umidade

Para a caracterização física dos tijolos solo-cimento-partículas foram determinadas a densidade e a umidade dos mesmos, de acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2012).

3.5.2 Absorção de água

De acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2012) os tijolos foram secos em estufa até perda total da umidade. Após 24 horas foi realizada a pesagem para obtenção do peso seco. Posteriormente, estes tijolos foram imersos em água para obtenção do peso úmido. A quantificação da absorção de água foi realizada de acordo com a equação (2).

$$A = \frac{M2-M1}{M1} \times 100 \quad (2)$$

em que:

M1= massa do tijolo seco em estufa (g);

M2= massa do tijolo saturado (g);

A= absorção de água (%).

3.5.3 Perda de massa por imersão

O método para determinação de perda de massa por imersão foi seguido de acordo com a ME-61 (ME, 2003). Posteriormente, ao período de cura, os tijolos foram encaminhados para a estufa até adquirir uma constância de massa. Passadas às 24 horas, os tijolos foram acondicionados em um recipiente de imersão e a água foi adicionada aos poucos até que sua lâmina atingisse pelo menos 1 cm acima da face externa do tijolo. Após o período de 24h, a massa desprendida do tijolo que ficou retida no recipiente foi coada com o auxílio de um coador de papel. Para a determinação da perda de massa por imersão foi utilizada a equação (3):

$$Pi = \frac{Md \times 100}{Mo} \times 100 \quad (3)$$

em que:

Md= massa do solo seco, da parte desprendida do corpo-de-prova (g);

Mo= é a massa do solo seco (g);

Pi= perda de massa por imersão (%).

3.5.4 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com os procedimentos descritos pela norma NBR 8492 (ABNT, 2012).

3.5.5 Determinação do isolamento térmico

Para a determinação do isolamento térmico dos tijolos solo-cimento, a placa de circuito arduíno iniciou os testes com os atuadores de calor. Estes mantiveram a temperatura média de 45°C na parte inferior do módulo e, na parte superior e entre os materiais, os sensores puderam capturar as respostas. Estas foram enviadas ao computador para comparação e armazenagem de dados. Todo o módulo teve isolamento térmico para a mínima

interferência do ambiente externo.

A obtenção da condutividade térmica (q'') que atravessa o compósito cimentício a partir da taxa de transferência de calor (q) de superfície plana constituída pelos tijolos foi o objetivo deste ensaio.

Para a obtenção do fluxo de calor, foi obtida a diferença entre o termopar localizado na parte inferior do módulo e o termopar localizado na parte superior e calculada conforme equação 4.

$$q'' = (270 * e) / \Delta \quad (4)$$

em que:

q'' = condutividade térmica (W/m°C)

270 = obtido por meio do medidor de radiação (radiação vinda da lâmpada de encontro ao corpo de prova)

e = espessura do corpo de prova (m)

Δ = variação entre os termopares (°C).

3.5.6 Ensaio de durabilidade

Foi realizado o ensaio de durabilidade, baseado no método de envelhecimento acelerado, segundo os procedimentos descritos pela NBR 13554 (ABNT, 2012), que classifica a durabilidade do solo-cimento por molhagem e secagem. Os corpos de prova foram submetidos a seis ciclos de molhagem e secagem, a partir do qual foi determinada a resistência à compressão, absorção de água, perda de massa e ensaio de microscopia.

3.5.7 Microscopia

Para a avaliar a influência do ensaio de envelhecimento acelerado nos tijolos solo-cimento foi realizada a microscopia por meio do Microscópio Estereoscópio com Epi-fluorescência SMZ 1500 (Nikon), com aumentos de 7,5x a 112,5x, localizado no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da Universidade Federal de Lavras/MG.

3.5.8 Análise estatística

Para a análise dos dados foi procedido um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2 (quatro tipos de materiais de reforço – eucalipto, pinus, PET e pneu, em associação com duas porcentagens de reforço – 1,5 e 3,0%), além de um tratamento

controle sem adição de materiais de reforço. Foi realizada análise de variância e de teste de média de Scott-Knott, ambos a 5% de significância.

Os dados obtidos foram confrontados com a norma de comercialização para compressão simples NBR 8492 (ABNT, 2012), absorção de água NBR 8492 (ABNT, 2012) e perda de massa por imersão (ME-61, 2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do solo

4.1.1 Classificação do solo

A norma NBR 10833 (ABNT, 2012) fixa as condições necessárias para a produção de tijolos solo-cimento. Inicialmente, o solo coletado atendeu às seguintes características estipuladas pela norma: 100% passando na peneira de 4,75 mm (n° 4) e de 10% a 50% passando na peneira de 75 µm (n° 200), conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Características do solo coletado.

Características estipuladas pela norma	Características do solo
100% passando na peneira de 4,74 mm (n° 4)	100% passando na peneira de 4,74 mm (n° 4)
10% a 50% passando na peneira de 75 µm (n° 200)	38% passando na peneira de 75 µm (n° 200)

Fonte: Do autor (2019).

Posteriormente, foi realizada a classificação do solo coletado que apresentou baixa porcentagem de areia (36%), conforme pode ser observado na Tabela 12, sendo necessário realizar a sua correção. Após realizada a correção, o solo foi novamente analisado, apresentando porcentagem de areia ideal, de 56% (Tabela 12), adequado para a produção de tijolos do tipo solo-cimento. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 1985), solos que apresentem de 50% a 90% de areia produzem solo-cimento com maior durabilidade. Para Souza et al. (2007), estes solos são os mais indicados para a produção dos tijolos solo-cimento por proporcionarem valores de resistência apropriados com baixo consumo de cimento.

Observa-se na Tabela 12 a classificação do solo inicial e após a correção com areia.

Tabela 12 – Classificação do solo.

Material	Areia (%)
Solo in natura	36
Solo após a correção	56

Fonte: Do autor (2019).

4.1.2 Análise química

Na Tabela 13 observam-se os valores obtidos para a análise química do solo.

Tabela 13 – Análise química do solo.

Análise		Análise	
pH	4,8	Al (cmolc/dm ³)	0,05
K (mg/dm ³)	7,95	H + Al (cmolc/dm ³)	1,68
P (mg/dm ³)	1,35	M.O. (dag/kg)	0,40
Ca (cmolc/dm ³)	0,58	P-Rem (mg/L)	25,99
Mg (cmolc/dm ³)	0,10	Fe (mg/dm ³)	20,44

Fonte: Do autor (2019).

Conforme pode ser observado na Tabela 13, o pH do solo utilizado foi de 4,8, ou seja, é considerado um solo de pH ácido. Segundo Miranda et al. (2007), solos ácidos apresentam dificuldades em se estabilizar com cimentos. Para Vendruscolo (2003), a presença de sais, como o sulfato e um pH ácido, podem inibir desenvolvimento da resistência de um solo tratado com cimento. Yang et al. (2013) ao avaliarem o comportamento mecânico do solo cimento sob ambientes de vários tipos de pH, como ácido ou alcalino, observaram que onde há o pH ácido não ocorre a hidratação do cimento, o que não promove a junção do solo com o cimento, fazendo com que a estrutura apresente aspecto corroído.

Foram observados também a presença de constituintes químicos, como o potássio (K), magnésio (Mg), ferro (Fe) e alumínio (Al), explicado pelo elevado teor de argila (Tabela 16). Neto et al. (2014) mencionam que a argila é constituída por partículas cristalinas de um número restrito de minerais conhecidos por argilominerais, mas também pode conter minerais como calcita, dolomita, quartzo, matéria orgânica e outras impurezas.

Com relação a matéria orgânica (M.O.), solos com a sua presença podem sofrer ação do meio pela alcalinidade elevada, vindo a alterar a sua estabilização como matéria-prima, prejudicando a qualidade do tijolo (GRANDE, 2003).

De forma geral, a constituição química do solo demonstrou que os seus constituintes podem interferir na qualidade final do tijolo solo cimento, principalmente pelo caráter ácido do solo e a presença de matéria orgânica.

4.1.3 Ensaio de retração

Ao avaliar a retração no solo corrigido foi obtido o valor médio de 8,64 mm. De acordo com as recomendações do CEPED (1984), a soma das retrações nas extremidades do solo deve ser inferior a 20 mm, o tornando viável para a produção de tijolos solo-cimento. Desta forma, o solo coletado apresentou potencial para a confecção dos tijolos.

Pinheiro et al. (2013) estudaram a viabilidade de incorporação do resíduo grits na fabricação de blocos prensados de encaixe de solo-cimento. Os autores analisaram distintos teores em massa, correspondentes às porcentagens solo-grits de 100-0; 75-25; 50-50; 25-75; e 0-100%. Para o ensaio de retração, os autores obtiveram o valor médio de 13 mm para o tratamento apenas com o solo.

Ferrari et al. (2014) analisaram tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná. Os autores coletaram o solo e este foi classificado como arenoso, apresentando 78% de areia e 22% de teor de argila e silte. O valor médio de retração obtido para este solo foi de 2,5 mm.

4.1.4 Compactação

Na Tabela 14 observam-se os valores médios obtidos de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima (γ_d máximo) no ensaio de compactação do tipo Proctor Normal. Ao realizar a comparação com o tratamento controle, observa-se que, de forma geral, os valores obtidos para a umidade ótima com a inclusão de partículas foram maiores em quase todos os tratamentos, com exceção do tratamento com 3,0% de eucalipto (13,23%) e 3,0% de PET (13,50%). É importante destacar que, com exceção do pinus, os demais tratamentos com a adição de 1,5% de partículas apresentaram os maiores valores de umidade ótima.

Tabela 14 – Valores de umidade ótima e γ_d máximo.

Tratamento	Umidade ótima (%)	γ_d máximo (g/cm ³)
Eucalipto 1,5%	18,57	1,272
Eucalipto 3,0%	13,23	1,159
Pinus 1,5%	17,13	1,241
Pinus 3,0%	19,59	1,182
PET 1,5%	16,13	1,329
PET 3,0%	13,50	1,281
Pneu 1,5%	17,58	1,356
Pneu 3,0%	16,82	1,314
Controle	15,08	1,236

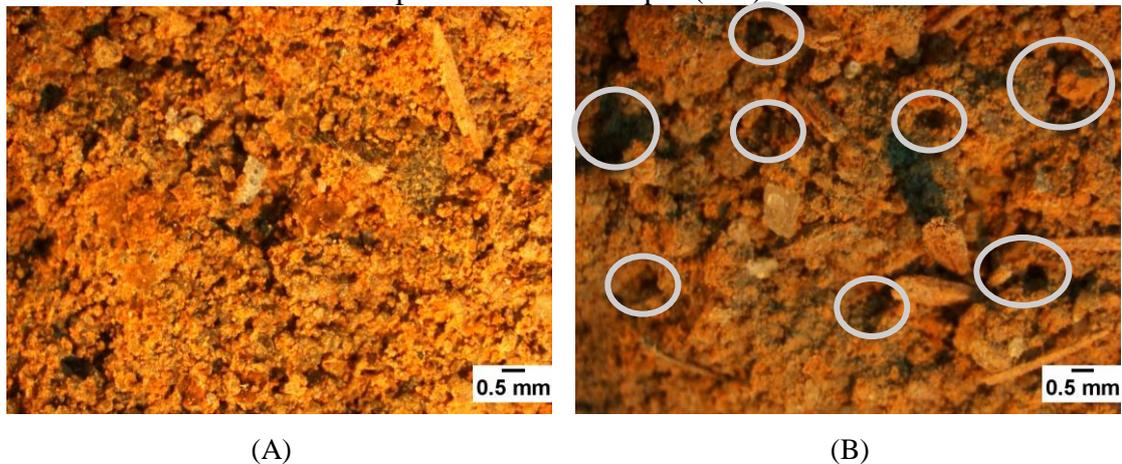
Fonte: Do autor (2019).

Milani & Freire (2006) afirmam que a compactação promove a melhora das propriedades do material, uma vez que ocorre a compressão do mesmo por meio de uma energia mecânica. Assim, pode-se citar que a compactação do solo promove o aumento da densidade e da resistência, além de reduzir os espaços vazios, diminuindo a permeabilidade e contração.

Neste sentido, ao verificar o γ_d máximo, nota-se que os valores médios para todos os tratamentos com a adição de 1,5% de resíduo foram maiores que os tratamentos com 3,0%. É possível verificar que, nos tratamentos com maior porcentagem de resíduo (3,0%), a compactação foi dificultada, aumentando os espaços vazios (Figura 1), o que diminuiu o γ_d máximo.

Os tratamentos com 1,5% de partículas apresentaram maior compactação, inferindo que houve uma melhor acomodação interna das partículas, o que possivelmente resultará em produtos mais resistentes e com menor absorção de umidade (FERRAZ & SEGANTINI, 2004). Ferreira & Oliveira (2007) observaram que, ao aumentar a quantidade da adição de resíduos vegetais ao tijolo solo cimento, maior foi a dificuldade de compactar a mistura, o que elevou o volume de vazios no sistema com conseqüente diminuição da massa específica aparente máxima. De acordo com Proctor (1933), conforme ocorre a adição de água, aumenta-se a densidade aparente até o ponto determinado de umidade ótima, que promove a lubrificação das partículas, facilitando o preenchimento dos espaços vazios.

Figura 1 – Tratamento com 1,5% de partículas de eucalipto (10x) (A); tratamento com 3,0% de partículas de eucalipto (10x).



Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 2 verificam-se as curvas de compactação para cada tratamento em comparação com o controle. Ao analisar o tratamento com partículas de pneu, observa-se que a curva tendeu a deslocar-se para cima e para a direita, indicando um aumento da densidade e da umidade, com destaque para a adição de 1,5% de partículas.

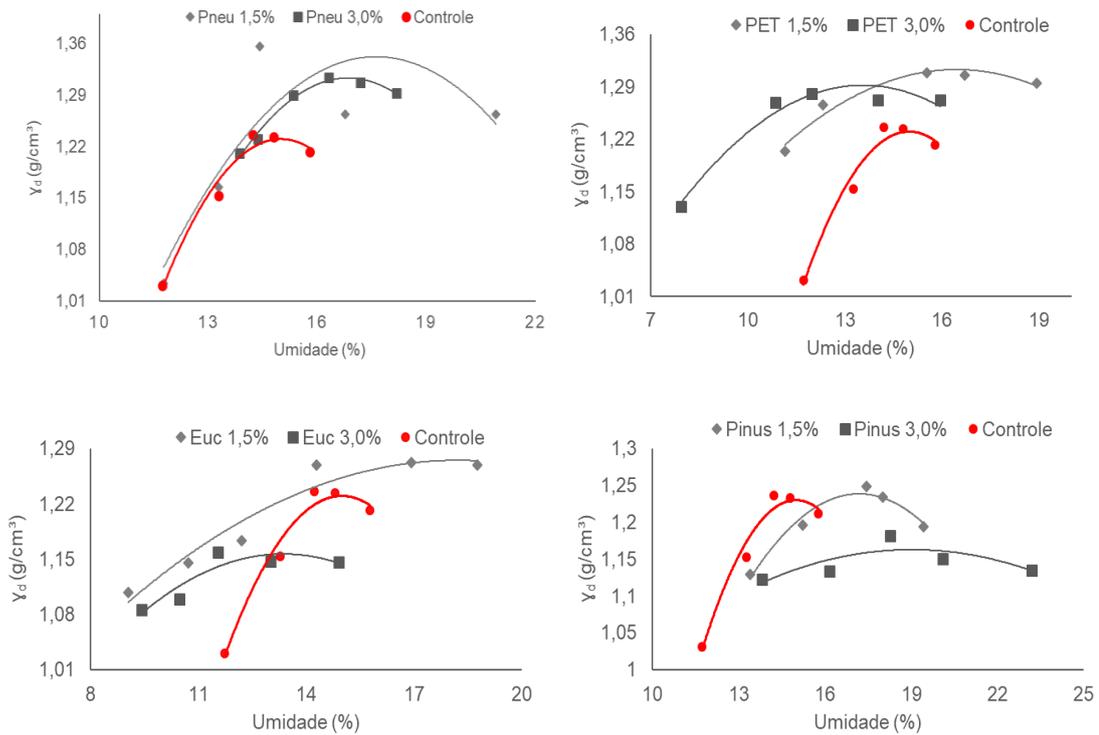
Ao verificar a tendência da curva com partículas de PET, observa-se que, tanto para a adição de 1,5%, quanto 3,0%, a tendência da curva foi deslocar-se para cima, indicando o aumento da densidade, porém, somente o tratamento com 1,5% obteve a curva tendendo a deslocar-se para a direita, demonstrando o aumento da umidade.

Ao analisar os tratamentos com partículas de eucalipto, observa-se que, com a adição de 1,5%, a curva tendeu a deslocar-se para cima e para a direita, demonstrando o aumento da umidade e densidade, entretanto, com a adição de 3,0%, a tendência foi o deslocamento para baixo e para a esquerda, indicando a redução da densidade e umidade.

Observando os tratamentos com partículas de pinus, verifica-se que, ao adicionar 1,5% e 3,0% de partículas, a curva tendeu a deslocar-se para a direita, indicando o aumento da umidade, porém, somente a adição de 3,0% tendeu ao deslocamento da curva para baixo, reduzindo a densidade, enquanto 1,5% manteve-se próximo ao controle.

Neste sentido, observa-se que a adição de 1,5% de partículas, de forma geral, tendeu ao deslocamento da curva para cima e para a direita, indicando o aumento da densidade e umidade, enquanto os tratamentos com 3,0% obtiveram reduções para ambas as propriedades.

Figura 2 – Curvas de compactação para cada tratamento.



Fonte: Do autor (2019).

4.1.5 Limites de consistência

Os limites de consistência obtidos no solo coletado podem ser observados na Tabela 15. Observa-se que o limite de liquidez obtido foi de 30,63%, o limite de plasticidade de 20,73% e o índice de plasticidade de 9,90%, e verifica-se que os dados obtidos estão de acordo com a ABCP (1986) e a NBR 10833 (ABNT, 2012).

Tabela 15 – Limites de consistência.

Limites de consistência (%)	ABCP (1986) e NBR 10833 (ABNT, 2012)	Controle
Limite de Liquidez	< 45%	30,63%
Limite de Plasticidade	-	20,73%
Índice de Plasticidade	< 18%	9,90%

Fonte: Do autor (2019).

Pinheiro et al. (2013) ao estudarem a viabilidade de incorporação do resíduo grits, nas porcentagens de 0, 25, 50, 75 e 100%, na fabricação de blocos de solo-cimento, obtiveram o

valor médio de 32% para o limite de liquidez, 15% para o índice de plasticidade e 17% para o limite de plasticidade para o tratamento com 100% de solo.

4.1.6 Análise granulométrica

Na Tabela 16 pode ser observada a análise granulométrica do solo corrigido, com as porcentagens de argila, silte e areia. De acordo com a classificação de solos AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), o solo utilizado neste trabalho foi considerado como do Tipo A-4.

Tabela 16 – Análise granulométrica do solo corrigido.

Constituintes	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Argila + silte (%)
Referências				
Solo corrigido	42	2	56	44
ICPA (1973)	5 - 10	10 - 20	-	-
MAC (1975)	20 - 30	< 30	40 - 70	-
CEPED (1984)	< 20	-	45 - 90	10 – 55
PCA (1969)	-	-	-	10 – 35
CINVA (1963)	-	-	45 - 80	20 – 25

Fonte: Do autor (2019).

Na Tabela 16, ao verificar o teor de argila + silte, é possível observar que o solo corrigido apresenta 44% para estes constituintes. São estabelecidos limites de distribuição granulométrica para os solos que podem ser estabilizados economicamente com cimento, sendo que a porcentagem de fração fina (argila e silte) não deve ultrapassar os 50% (HIGHWAY RESEARCH BOARD OF AMÉRICA – HRB, 1961). Para Segantini (2000), solos que possuem um teor de silte mais argila inferior a 20%, não apresentam uma resistência inicial para a sua compactação. Segundo Milani & Freire (2006), a quantidade suficiente de finos (argila + silte) poderá conferir maior plasticidade à mistura.

Com relação a areia e a argila, o solo corrigido possui teor de 56% e 42%, respectivamente. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 1985), solos que apresentem de 50% a 90% de areia produzem solo-cimento com maior durabilidade, sendo que solos argilosos apresentam maior gasto com cimento e maior dificuldade na pulverização e estabilização da massa em função da baixa porcentagem de areia. Para Specht

(2002), quanto maior a fração argilosa de um solo, maior será a sua tendência à retração. Apesar do solo corrigido apresentar alta porcentagem de argila, o valor médio de retração obtido está em conformidade com o valor máximo estipulado pelo CEPED (1984).

Para Milani & Freire (2006), quanto mais fina for a granulometria do solo, maior será sua área específica, significando que a área a ser envolvida pelo aglomerante será maior. O autor menciona que solos com granulometria desuniforme são considerados ideais, uma vez que requerem menor teor de estabilizante e as partículas menores preencherão os espaços existentes entre os grãos maiores. Neste caso, os maiores teores de argila (42%) e areia (56%), pode vir a facilitar a interação entre o solo e o aglomerante.

4.2 Caracterização das partículas

4.2.1 Caracterização morfológica

As caracterizações morfológicas das partículas de eucalipto, pinus, PET e pneu podem ser visualizadas na Tabela 17. Observa-se que as partículas de eucalipto e PET apresentaram os maiores valores médios, e obtiveram igualdade estatística para o comprimento, sendo estes de 0,60mm e 0,57mm, respectivamente. As partículas de pinus obtiveram comprimento intermediário, diferenciando-se estatisticamente das partículas de pneu. Com relação a largura das partículas, houve diferença estatística entre todos os valores obtidos. Os menores valores foram obtidos para as partículas de pneu (0,05mm), seguidos pelas partículas de eucalipto (0,09mm), partículas de pinus (0,13mm) e, por último, as partículas de PET (0,20mm).

Tabela 17 – Caracterização morfológica das partículas de eucalipto, pinus, PET e pneu.

Partícula	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Índice de Esbeltez
Eucalipto	0,60 ^(0,14) A	0,09 ^(0,03) C	7,11 ^(2,80) A
Pinus	0,47 ^(0,11) B	0,13 ^(0,02) B	3,76 ^(1,21) B
PET	0,57 ^(0,09) A	0,20 ^(0,06) A	3,14 ^(0,87) B
Pneu	0,30 ^(0,06) C	0,05 ^(0,01) D	6,42 ^(1,73) A

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Desvio padrão entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

O índice de esbeltez, caracterizado como a relação entre o comprimento e a largura da partícula, é maior para as partículas de eucalipto (7,11) e pneu (6,42), sendo estes valores estatisticamente iguais e diferentes das partículas de pinus (3,76) e PET (3,14). O índice de esbeltez tem influência direta nas propriedades mecânicas. Iwakiri et al. (2005) mencionam

que o índice de esbeltez afeta positivamente as propriedades mecânicas e dimensionais do produto.

4.2.2 Caracterização química

Na Tabela 18 é possível verificar a análise química das partículas de eucalipto e pinus. Verifica-se que, somente para o teor de holocelulose, os valores médios obtidos para as partículas de eucalipto e pinus foram estatisticamente iguais, sendo estes de 76,60 e 75,47%, respectivamente. Com relação ao teor de lignina, as partículas de pinus apresentam o maior valor médio (28,62%), diferindo estatisticamente do valor médio obtido para as partículas de eucalipto (26,90%). Para o teor de extrativos, o eucalipto apresentou o maior valor médio (6,67%) e diferiu estatisticamente do pinus (5,43%). Ao analisar o teor de cinzas, as partículas de eucalipto apresentaram o maior valor médio (1,10%), diferindo estatisticamente das partículas de pinus (0,26%).

Tabela 18 – Análise química das partículas de eucalipto e pinus.

Partícula	Holocelulose	Lignina	Extrativos Totais	Cinzas
	(%)			
Eucalipto	76,60 ^(0,18) C	26,90 ^(0,95) C	6,67 ^(0,20) A	1,10 ^(0,27) A
Pinus	75,47 ^(1,08) C	28,62 ^(0,22) B	5,43 ^(0,22) B	0,26 ^(0,05) B

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Desvio padrão entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

De acordo com Beraldo & Pimentel (1999) e Beraldo & Carvalho (2000) existe a possibilidade de ocorrer à incompatibilidade química entre a biomassa vegetal e o cimento. A constituição química da biomassa vegetal possui açúcares, resinas, fenóis e amido, que pode afetar a hidratação do cimento. Para Alberto; Mougel; Zoulalian (2000), devido à quantidade de extrativos que podem estar presentes na madeira, nem todas as espécies reagem favoravelmente ao cimento Portland. Porém, a quantidade de madeira utilizada nos tratamentos (1,5% e 3,0%) é pequena, e levando em conta que a maior parte do tijolo é constituída de solo, é possível que a quantidade de extrativos do material lignocelulósico não irá influenciar a cura do cimento, não inviabilizando a utilização de determinado resíduo.

Segundo Agopyan & Savastano Júnior (2003), a capacidade de reforço das fibras pode ser reduzida devido a decomposição química da lignina e da hemicelulose, sofrendo

influência das intempéries e da alcalinidade da mistura. John & Agopyan (1993), mencionam que, dentre as substâncias analisadas, a lignina pode ser decomposta facilmente em meios alcalino (cimento) e aquoso, sofrendo um processo de lixiviação. Os autores afirmam que a destruição da lignina rompe a ligação entre as células fibrosas de celulose, destruindo o arranjo espacial das paredes das fibras, perdendo a sua resistência. Ao longo do tempo a diferenciação na composição química dos dois tipos de material de reforço podem influenciar de forma distinta as propriedades físicas e mecânicas dos tijolos.

4.2.3 Caracterização física

Na Tabela 19 pode-se analisar a caracterização física das partículas de eucalipto e pinus. Observa-se que a densidade básica e a densidade aparente da madeira de eucalipto apresentaram maiores valores médios quando comparada com a madeira de pinus, devido a maior concentração de células de paredes mais espessas (BASSET, 1994).

Tabela 19 – Análise física das partículas de eucalipto e pinus.

Partícula	Densidade básica	Densidade aparente	Absorção máxima de água	pH
	(g/cm ³)		(%)	
Eucalipto	0,560 ^(0,097) A	0,601 ^(0,035) A	409,28 ^(14,67) B	6,17 ^(0,16) A
Pinus	0,501 ^(0,058) B	0,554 ^(0,087) B	500,43 ^(41,84) A	5,39 ^(0,07) A

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Desvio padrão entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Para a propriedade de absorção máxima de água, as partículas de pinus apresentaram o maior valor médio (500,43%), diferindo estatisticamente das partículas de eucalipto (409,28%). Esta absorção máxima pode ser explicada pelo fato da água ter atingido o lúmen na madeira de pinus, onde a mesma absorve uma quantidade maior. Apesar das madeiras mais densas, como o eucalipto, possuírem maior concentração de células de paredes mais espessas e tenderem a absorver mais água por unidade de volume, também possuem elevados teores de extrativos nas suas paredes celulares (Tabela 18), o que diminui a absorção (BASSET, 1994).

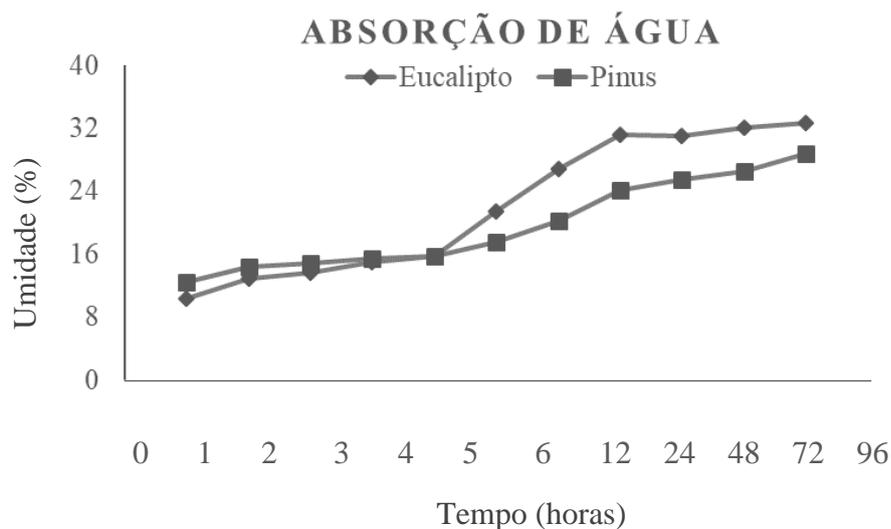
Com relação ao pH, além do solo apresentar o pH ácido (Tabela 13), as partículas de eucalipto e pinus também são consideradas com pH ácido que, em conjunto, podem inibir o desenvolvimento da resistência de um solo tratado com cimento (VENDRUSCOLO, 2003), reduzindo suas propriedades mecânicas. As partículas apresentam baixa durabilidade em meio

alcalino, ou seja, em contato com o cimento, que apresenta pH alcalino, ocorre a mineralização das mesmas. Segundo Agopyan et al. (2005), o processo de reprecipitação dos produtos de hidratação do cimento no interior das partículas caracteriza a mineralização das mesmas, o que pode afetar a durabilidade e as propriedades mecânicas dos tijolos. Os autores mencionam que a região da matriz ao redor do material lignocelulósico apresenta elevada porosidade, o que pode acumular soluções de água com produtos alcalinos, promovendo a degradação das partículas, decompondo a lignina e a hemicelulose (SAVASTANO JÚNIOR; DANTAS, AGOPYAN, 1994).

4.2.3.1 Absorção de água

A Figura 3 ilustra a absorção de água das partículas de eucalipto e pinus, relacionando o tempo de absorção (horas) e a umidade (%). É possível verificar que as partículas de pinus e eucalipto mantêm um padrão de absorção nas primeiras 5 horas, contudo, após este período, as partículas de eucalipto absorvem uma maior quantidade de água, apresentando a maior umidade após 24 horas de ensaio. Silva et al. (2015), ao analisarem a influência da lignina em argamassa de revestimento, observaram que os tratamentos com menor adição de lignina, apresentaram maior absorção por capilaridade. As partículas de eucalipto apresentaram menor teor de lignina (Tabela 18), o que pode ter influenciado na maior absorção.

Figura 3 – Absorção de água das partículas de pinus e eucalipto.



Fonte: Do autor (2019).

4.3 Caracterização dos tijolos solo-cimento-partículas

4.3.1 Caracterização física

4.3.1.1 Densidade antes e após o ensaio de durabilidade

Na Tabela 20 podem ser analisados os valores médios de densidade, antes e após o ensaio de durabilidade, dos tijolos solo-cimento para cada tratamento. Verifica-se que somente os tratamentos com adição de 3,0% de partículas apresentaram redução significativa de densidade quando comparados com o tratamento controle. Este fato pode ser explicado pelo maior volume de partículas adicionadas ao tijolo solo-cimento que, conforme pode ser observado na Tabela 14, reduziu também o γ_d máximo, e aumentou a geração de poros entre as partículas adicionadas (Figura 4).

Tabela 20 - Valores médios de densidade dos tijolos solo-cimento antes e após o envelhecimento acelerado.

Tratamentos	Densidade antes do	Densidade após o	Δ
	envelhecimento acelerado	envelhecimento acelerado	
(g/cm ³)			
Eucalipto 1,5%	1,508 ^(0,011) ns	1,501 ^(0,009) ns	-0,46
Eucalipto 3,0%	1,275 ^(0,009) *	1,265 ^(0,016) *	-0,78
PET 1,5%	1,500 ^(0,017) ns	1,486 ^(0,001) ns	-0,93
PET 3,0%	1,446 ^(0,016) *	1,434 ^(0,008) ns	-0,83
Pinus 1,5%	1,480 ^(0,006) ns	1,458 ^(0,002) ns	-1,49
Pinus 3,0%	1,304 ^(0,005) *	1,320 ^(0,003) *	1,23
Pneu 1,5%	1,499 ^(0,007) ns	1,445 ^(0,022) ns	-3,60
Pneu 3,0%	1,368 ^(0,005) *	1,328 ^(0,004) *	-2,92
Controle	1,482 ^(0,019)	1,461 ^(0,043)	-1,42

*Diferencia-se estatisticamente pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$) do tratamento controle; ns não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$) do tratamento controle. Valores de desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 4 – Comparação entre o tratamento com 1,5% de partículas de eucalipto (A) e o tratamento com 3,0% de partículas de eucalipto com característica de esfarelamento (B); ambos após o ensaio de absorção de água.



Fonte: Do autor (2019).

Ainda em relação aos dados obtidos, observou-se interação entre o tipo de material utilizado (eucalipto, PET, pinus e pneu) e a porcentagem de partícula utilizada (1,5 e 3,0%) para a propriedade de densidade, antes e após o ensaio de envelhecimento, como mostram as Tabelas 21 e 22, respectivamente.

Tabela 21 – Valores médios de densidade dos tijolos, antes do ensaio de durabilidade, em função da porcentagem e do tipo de material.

Tipo de material	Porcentagem (%)	
	1,5	3,0
Eucalipto	1,508 ^(0,013) aA	1,275 ^(0,009) dB
PET	1,500 ^(0,017) aA	1,446 ^(0,016) aB
Pinus	1,480 ^(0,006) bA	1,304 ^(0,005) cB
Pneu	1,499 ^(0,007) aA	1,368 ^(0,005) bB

Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras minúsculas referem-se aos valores das colunas, enquanto as maiúsculas referem-se aos valores das linhas. Os valores do desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Ao avaliar a porcentagem de 1,5% de partículas dentro de cada tipo de material, verifica-se que somente o tratamento com pinus diferiu estatisticamente dos demais, apresentando o menor valor médio (1,480 g/cm³), o que pode ser explicado pela alta concentração de poros (Figura 5). Porém, ao analisar a porcentagem de 3,0% de material de reforço dentro dos tipos de material, todos os tratamentos diferiram estatisticamente, sendo o maior valor médio obtido pelo tratamento com PET (1,446 g/cm³), o que pode ser explicado

pela elevada densidade do material (1,13 g/cm³) (MACIEL et al. 2004) e pela baixa concentração de poros (Figura 6).

Analisando o tipo de material nas porcentagens de 1,5% e 3,0%, observa-se que houve diferença estatística para todas as partículas. Com o aumento da adição de material de reforço, houve a redução da densidade. Milani & Freire (2006) observaram o mesmo comportamento ao avaliarem os efeitos da adição da casca de arroz nas propriedades físico-mecânicas do tijolo solo-cimento. Os autores verificaram que são incorporados maiores volumes de vazios ao sistema quanto maior for a adição de casca, resultando em uma baixa interação entre o sistema solo-cimento e o resíduo.

Tabela 22 - Valores médios de densidade dos tijolos, após o envelhecimento, em função da porcentagem e do tipo de resíduo.

Tipo de material	Porcentagem (%)	
	1,5	3,0
Eucalipto	1,501 ^(0,009) aA	1,265 ^(0,016) cB
PET	1,486 ^(0,001) bA	1,434 ^(0,008) aB
Pinus	1,458 ^(0,002) cA	1,320 ^(0,003) bB
Pneu	1,445 ^(0,022) cA	1,328 ^(0,004) bB

Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras minúsculas referem-se aos valores das colunas, enquanto as maiúsculas referem-se aos valores das linhas. Os valores do desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

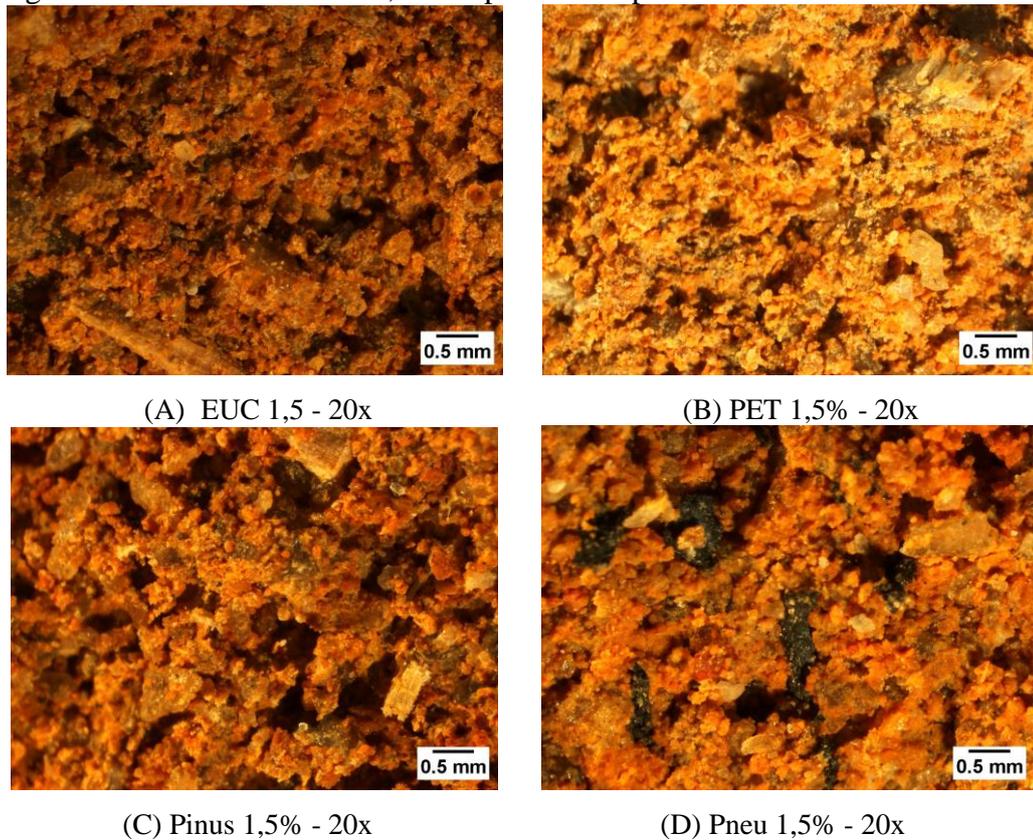
Fonte: Do autor (2019).

Ao avaliar a porcentagem de 1,5%, dentro de cada material e após o envelhecimento acelerado dos tijolos, verifica-se que os tratamentos com partículas de eucalipto e PET diferiram estatisticamente entre si e dos demais tratamentos, apresentando os maiores valores médios, enquanto que os tratamentos com pinus e pneu apresentaram valores médios menores e estatisticamente iguais. O mesmo padrão foi observado para a porcentagem de 3,0% de partículas, entretanto, o tratamento com partículas de eucalipto apresentou o menor valor (1,265 g/cm³). O tratamento com partículas de eucalipto, como já citado anteriormente, apresentou característica de esfrelamento, afetando suas propriedades físicas e mecânicas, o que reduziu sua densidade, devido ao aumento dos poros (Figura 4B).

Avaliando o tipo de material dentro de cada porcentagem, observa-se que houve diferença estatística para todos os tratamentos. Verifica-se que, com o aumento da adição de material de reforço, houve a redução da densidade, assim como observado para os tijolos sem envelhecimento acelerado.

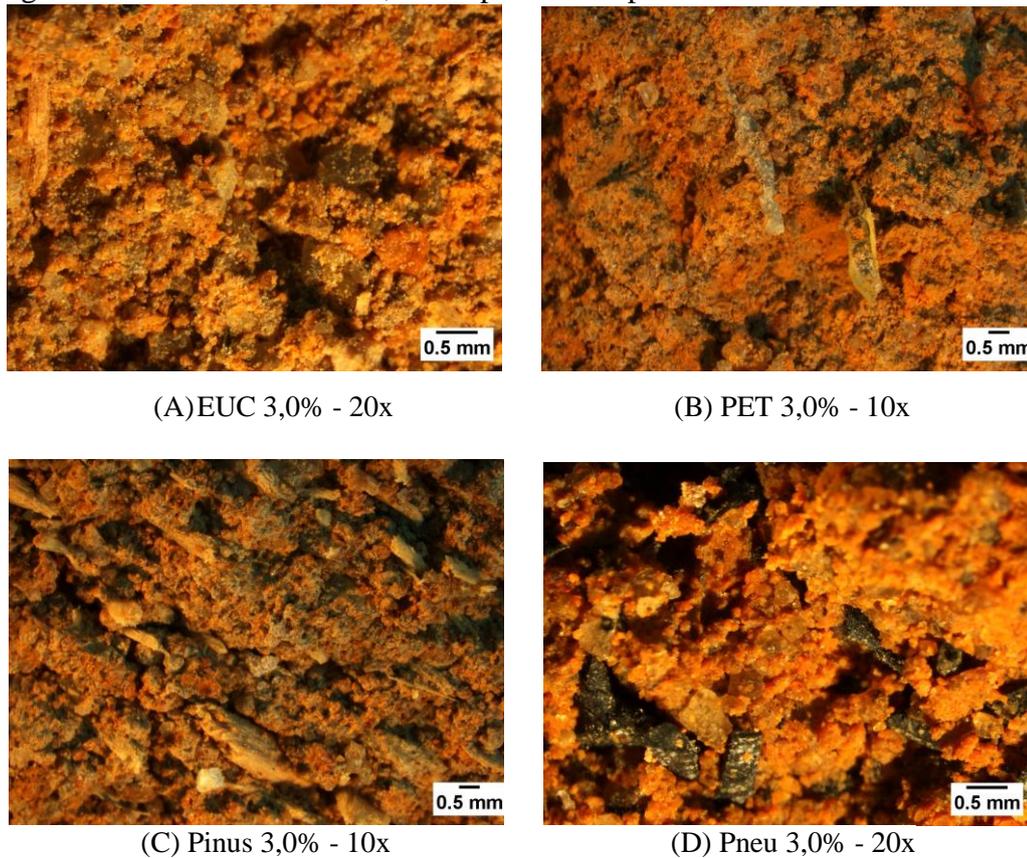
Após o envelhecimento acelerado, a redução da densidade foi influenciada pelo esfarelamento dos tijolos solo-cimento durante os ciclos de molhagem e secagem, aumentando os espaços vazios, conforme pode ser visualizado nas Figuras 5 e 6. Houve redução significativa da densidade para os tratamentos com 1,5% e 3,0% de pneu devido ao esfarelamento sofrido por este tratamento, provocando o aumento dos poros, conforme pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 5 – Tratamentos com 1,5% de partículas após o ensaio de envelhecimento.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 6 – Tratamentos com 3,0% de partículas após o ensaio de envelhecimento.



Fonte: Do autor (2019).

De forma geral, observa-se que a adição de partículas e o ensaio de durabilidade promoveram a redução da densidade nos tijolos solo cimento. Os tratamentos com 1,5% apresentaram valores médios de densidade iguais estatisticamente ao tratamento controle e os tratamentos com 3,0% promoveram redução estatística da densidade em função do aumento da porosidade.

4.3.1.2 Umidade e grau de compactação

Na Tabela 23 podem ser analisados os valores médios de umidade e grau de compactação dos tijolos solo-cimento para cada tratamento. Com relação a umidade, observa-se que somente o tratamento com 3,0% de pneu diferiu estatisticamente do tratamento controle, apresentando o maior valor médio (17,96%). É possível observar que o aumento na porcentagem de partículas para 3,0% resultou no aumento da umidade absorvida pelos tijolos, com exceção dos tijolos reforçados com partículas de eucalipto. Esses resultados são explicados em função da associação dos materiais de reforço com a matriz, sendo menos

efetiva a interação quando se aumenta a quantidade para 3,0%, e mais destacada no caso do reforço do pneu, uma vez que o mesmo em porcentagens maiores apresenta a questão da taxa de retorno a compressão, conforme referenciado por Vilela et al. (2018).

Tabela 23 – Valores médios de umidade e grau de compactação dos tijolos solo-cimento.

Tratamentos	Umidade (%)	Grau de compactação (CG)
Eucalipto 1,5%	13,86 ^(0,33) ns	112,72 ^(1,25) ns
Eucalipto 3,0%	10,81 ^(0,92) ns	110,69 ^(1,21) *
PET 1,5%	12,49 ^(0,43) ns	110,62 ^(1,43) *
PET 3,0%	12,80 ^(2,26) ns	112,20 ^(3,31) ns
Pinus 1,5%	14,87 ^(0,99) ns	112,62 ^(1,00) ns
Pinus 3,0%	16,01 ^(1,38) ns	107,16 ^(0,83) *
Pneu 1,5%	13,76 ^(1,17) ns	108,63 ^(1,19) *
Pneu 3,0%	17,96 ^(0,68) *	103,66 ^(1,01) *
Controle	13,02 ^(2,92)	115,80 ^(1,61)

*Diferencia-se estatisticamente pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$) do tratamento controle; ns não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$) do tratamento controle. Valores de desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

De acordo com Garcez et al. (2013), a madeira é um material higroscópico, com capacidade para absorver ou perder água para o meio ambiente, assim, quanto maior a porcentagem de adição de partículas, maior o teor de umidade do tijolo. Enquanto que para os materiais PET e pneu, o efeito foi relacionado com a geração de poros em função da associação das partículas com o solo, assim como foi relatado na redução das densidades dos tijolos. Esse efeito também pode ser considerado para as partículas de madeira.

Analisando o grau de compactação, os tratamentos com 1,5% de eucalipto, 3,0% de PET e 1,5% de pinus não diferiram estatisticamente do tratamento controle. Apesar de não apresentarem o grau de compactação dentro do proposto por Bueno & Vilar (1999), que exigem grau de compactação (GC) entre 95% e 105%, o tratamentos com 1,5% de eucalipto e 3,0% de PET atingiram o valor mínimo para resistência à compressão antes do ensaio de durabilidade, e os três tratamentos (1,5% de eucalipto, 3,0% de PET e 1,5% de pinus) atenderam a norma para o ensaio de compressão após o envelhecimento (Tabela 31), demonstrando que, apesar de apresentarem um elevado grau de compactação, mantiveram suas propriedades mecânicas.

É importante destacar que somente o tratamento com 3,0% de partículas de pneu atendeu ao proposto por Bueno & Vilar (1999), com grau de compactação de 103,66%. Cabe mencionar que, apesar de estar dentro da faixa de valores estabelecida, este tratamento apresentou o menor valor médio quando comparado aos demais tratamentos. Este fato pode estar relacionado a taxa de retorno a compressão das partículas de pneu (Vilela et al. 2018) que, após a compactação, tendem a retornar ao seu estado natural, provocando o afastamento dos componentes, gerando poros e influenciando na absorção de água.

Ainda em relação aos dados obtidos, observou-se interação entre o tipo de material utilizado (eucalipto, PET, pinus e pneu) e a porcentagem de partícula utilizada (1,5 e 3,0%) para a propriedade de umidade como mostra a Tabela 24.

Tabela 24 – Valores médios de umidade dos tijolos em função da porcentagem e do tipo de material.

Tipo de material	Porcentagem (%)	
	1,5	3,0
Eucalipto	13,86 ^(0,33) aB	10,81 ^(0,92) aA
PET	12,49 ^(0,43) aA	12,80 ^(2,26) aA
Pinus	14,87 ^(0,99) aA	16,01 ^(1,38) bA
Pneu	13,76 ^(1,17) aA	17,96 ^(0,68) bB

Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras minúsculas referem-se aos valores das colunas, enquanto as maiúsculas referem-se aos valores das linhas. Os valores do desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Ao avaliar a porcentagem de 1,5% de partículas dentro de cada tipo de material, observa-se que não houve diferenciação estatística. Entretanto, ao avaliar a porcentagem de 3,0% dentro de cada tipo de material, verifica-se que os tratamentos com partículas de eucalipto e PET não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram o menor valor médio (10,81 e 12,80%, respectivamente), enquanto os tratamentos com partículas de pinus e pneu apresentaram valores estatisticamente iguais, diferindo dos demais, e obtendo os maiores valores médios de umidade.

O menor valor de umidade observado no tratamento com partículas de eucalipto está relacionado ao baixo valor obtido para a umidade ótima e menor γ_d (Tabela 14). A característica de esfarelamento observada para este tratamento demonstra que a quantidade de água adicionada foi insuficiente para a aglutinação dos componentes (Figuras 4B e 6A).

A maior umidade observada no tratamento com partículas de pinus pode ser explicada pela absorção máxima de água obtida para esta partícula (Tabela 19), onde a água atinge o lúmen e absorve uma quantidade maior. Com relação a umidade elevada observada no tratamento com as partículas de pneu, pode-se associar este fato ao retorno das partículas de pneu após a remoção da pressão durante o processo de fabricação, o que gerou microtrincas e poros (Figura 6), possibilitando a penetração da água (VILELA et al. 2018).

Avaliando o tipo de material nas porcentagens de 1,5 e 3,0%, observa-se que somente as partículas de eucalipto e pneu apresentaram diferenciação estatística. Houve uma redução na umidade, no γ_d máximo (Tabela 14) e na densidade (Tabela 20) com o incremento de partículas de eucalipto, demonstrando que não houve uma boa interação entres os componentes e, para as partículas de pneu, houve um aumento na umidade com o acréscimo de partículas, devido a taxa de retorno do material (VILELA et a. 2018).

4.3.1.3 Absorção de água antes e após o ensaio de durabilidade

Na Tabela 25 podem ser verificados os valores médios de todos os tratamentos obtidos para as propriedades de absorção de água antes e após o envelhecimento acelerado. É possível observar que a propriedade absorção de água após o ensaio de durabilidade seguiu o mesmo padrão de antes dos ciclos de molhagem e secagem. Os tratamentos com a inclusão de 1,5% de material de reforço obtiveram igualdade estatística com o tratamento controle, assim como o tratamento com 3,0% de PET. Os materiais de reforço eucalipto, pinus e pneu quando utilizado na porcentagem de 3,0% promoveu o aumento significativo da absorção de água dos painéis.

Tabela 25 – Valores médios de absorção de água antes e após o ensaio de durabilidade.

Tratamentos	Absorção de água (%)	Absorção de água após envelhecimento (%)	Δ
Eucalipto 1,5%	20,78 ^(0,10) ns	20,52 ^(0,30) ns	-1,25
Eucalipto 3,0%	31,22 ^(0,42) *	31,15 ^(0,28) *	-0,22
PET 1,5%	21,06 ^(0,22) ns	21,07 ^(0,53) ns	0,05
PET 3,0%	22,57 ^(0,52) ns	23,17 ^(0,04) ns	2,66
Pinus 1,5%	21,16 ^(0,97) ns	23,43 ^(0,28) ns	10,73
Pinus 3,0%	27,40 ^(1,86) *	29,88 ^(0,17) *	9,05
Pneu 1,5%	21,93 ^(1,05) ns	22,36 ^(0,10) ns	1,96
Pneu 3,0%	27,13 ^(0,39) *	27,43 ^(0,42) *	1,11
Controle	22,62 ^(0,33)	22,16 ^(1,00)	-2,03

*Diferencia-se estatisticamente pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$) do tratamento controle; ns não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$) do tratamento controle. Valores de desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Os menores valores de absorção de água nos tratamentos com menor quantidade de partículas estão relacionados ao fato de que foram obtidos maiores valores de γ_d máximo para esses tratamentos, conforme pode ser verificado na Tabela 14, ou seja, houve uma melhor compactação, o que proporcionou menores espaços vazios, dificultando a penetração da água. Para Souza Júnior (2005), a compactação do solo promove o aumento da densidade e da resistência, além de reduzir os espaços vazios, diminuindo a permeabilidade e contração.

O tratamento com partículas de eucalipto, apesar de apresentar diminuição do valor de umidade dos tijolos quando utilizados na porcentagem de 3,0% (Tabela 23), demonstrou possuir elevada absorção de água, o que está relacionado diretamente com a compactação dos tijolos, não atingindo a umidade ótima e com baixo γ_d (Tabela 14). Também pode-se citar que, nos tratamentos com 3,0% de partículas, a mistura compactada tendeu a se apresentar mais porosa, o que promoveu o aumento da absorção de água (MENDONÇA e LIMA, 1998). O pneu, apesar de não absorver água, apresentou valor médio superior ao tratamento controle, uma vez que este fato está associado ao retorno das partículas de pneu após a remoção da pressão durante o processo de fabricação, o que gerou microtrincas e poros, possibilitando a penetração da água (VILELA et al. 2018).

Cabe ressaltar que o tratamento controle diminuiu a absorção de água após o ensaio de envelhecimento em 2,03%. Esta redução pode estar associada a melhor interação entre o solo e o aglomerante no decorrer do tempo, diminuindo a absorção e também promovendo o aumento da resistência (Tabela 31) (SOUZA et al. 2007).

Os tratamentos avaliados atingiram valores médios superiores ao valor máximo para absorção de água estipulado pela norma brasileira NBR 10834 (2012) e a ABCP (1988), que é de 20%. Como o solo corrigido apresentou elevado teor de argila (Tabela 16), este fato pode ter contribuído para os valores médios obtidos para os tratamentos estarem acima do indicado, uma vez que solos argilosos tendem a reter mais água devido aos seus aspectos macro e microestruturais (FREDLUND & XING, 1994).

Ainda em relação aos dados obtidos, observou-se interação entre o tipo de material utilizado (eucalipto, PET, pinus e pneu) e a porcentagem de partícula utilizada (1,5 e 3,0%) para a propriedade de absorção de água, anterior ao ensaio de durabilidade, como mostra a Tabela 26, e para a propriedade de absorção de água, após o ensaio de durabilidade, na Tabela 27.

Tabela 26 – Valores médios de absorção de água em função do tipo e da porcentagem de material.

Tipo de material	Porcentagem (%)	
	1,5	3,0
Eucalipto	20,78 ^(0,10) aB	31,22 ^(0,42) aA
PET	21,06 ^(0,22) aB	22,57 ^(0,52) cA
Pinus	21,16 ^(0,97) aB	27,40 ^(1,86) bA
Pneu	21,93 ^(1,05) aB	27,13 ^(0,39) bA

Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras minúsculas referem-se aos valores das colunas, enquanto as maiúsculas referem-se aos valores das linhas. Os valores do desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Anteriormente ao ensaio de durabilidade, ao analisar o tipo de material na porcentagem de 1,5%, verifica-se que não houve diferença estatística, ou seja, os tijolos produzidos com os quatro tipos de partículas absorveram água de forma similar. Entretanto, ao avaliar as partículas na porcentagem de 3,0%, observa-se que o tijolo com PET foi o que apresentou o menor valor médio de absorção de água (22,57%), seguido dos tijolos com pinus e pneu (27,40 e 27,13%, respectivamente), que foram estatisticamente iguais e, por fim, os tijolos com eucalipto, que apresentaram o maior valor médio de absorção, sendo este de 31,22%. Este fato pode ser explicado devido a característica de esfrelamento observada neste tratamento com eucalipto (Figuras 1A e 5), o que aumentou os poros, reduziu a densidade (Tabela 20) e possibilitou a entrada de água. O melhor resultado obtido para o tratamento com partículas de PET pode ser explicado pelo próprio material não absorver água, assim como o pneu, entretanto, esta partícula apresentou melhor aderência à mistura solo-cimento.

Avaliando o tipo de material dentro de cada porcentagem, todos os tratamentos diferiram estatisticamente, apresentando um aumento da absorção de água com a adição de maior porcentagem de partículas, ou seja, a porcentagem de material adicionada teve influência negativa na absorção de água. Savastano Júnior et al. (2000) atestam que, ao adicionar uma maior quantidade de partículas ao material, ocorre um acréscimo da absorção de água e uma redução na densidade, o que está associado a compactação e a geração de poros.

Tabela 27 - Valores médios de absorção de água após o envelhecimento em função do tipo e da porcentagem de resíduo.

Tipo de material	Porcentagem (%)	
	1,5	3,0
Eucalipto	20,52 ^(0,30) aA	31,15 ^(0,28) aB
PET	21,07 ^(0,53) aA	23,17 ^(0,04) cB
Pinus	23,43 ^(0,28) aA	29,88 ^(0,17) aB
Pneu	22,36 ^(0,10) aA	27,43 ^(0,42) bB

Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras minúsculas referem-se aos valores das colunas, enquanto as maiúsculas referem-se aos valores das linhas. Os valores do desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Após o ensaio de durabilidade, ao analisar o tipo de material na porcentagem de 1,5%, observa-se que não houve diferença estatística, sendo que os tijolos produzidos com os quatro tipos de resíduos absorveram água de forma similar, assim como observado para os tijolos ensaiados após 28 dias de cura.

Ao avaliar o tipo de material na porcentagem de 3,0%, verifica-se que os tratamentos utilizando as partículas de eucalipto e pinus apresentaram valores estatisticamente iguais e superiores aos demais para a propriedade absorção de água. Tal resultado está associado a característica higroscópica desses materiais, promovendo maior absorção, além da absorção gerada por poros obtidos pela associação entre matriz-partícula e partícula-partícula, também observada para os materiais PET e pneu. É importante destacar o tratamento com as partículas de PET apresentou o menor valor médio para a propriedade absorção de água (23,17%), o que está associado à sua natureza hidrofóbica e a boa interação com a matriz composta de cimento e solo.

Ao comparar a porcentagem dentro de cada tipo de material, verifica-se todos os tratamentos apresentaram diferença estatística, sendo possível observar que houve um

aumento da absorção de água com a adição de partículas, ou seja, a porcentagem de material adicionada teve influência negativa na absorção de água.

Apesar da influência negativa do acréscimo de partículas, os tratamentos com 1,5% de material reforço, independentemente do tipo de material, e o tratamento com 3,0 % de PET não obtiveram diferenciação estatística em relação ao tratamento controle, antes e após o envelhecimento acelerado, podendo ser utilizados sem prejudicar essa propriedade dos tijolos.

4.3.1.4 Perda de massa por imersão antes e após o ensaio de durabilidade

Na Tabela 28 são apresentados os valores médios de perda de massa por imersão antes e após o ensaio de durabilidade. Ao observar os valores médios de perda de massa por imersão, verifica-se que, antes do ensaio de durabilidade, de forma geral, os tratamentos com 3,0% de partículas apresentaram maior perda de massa quando comparados com o tratamento controle, com exceção do tratamento com 3,0% de PET. A adição de partículas em uma porcentagem elevada não proporcionou boa compactação aos tijolos (Tabela 14), o que não promoveu boa adesão das partículas ao compósito, fazendo com que o mesmo, quando em contato com a água, apresentasse perda dos seus constituintes, conforme pode ser observado na Figura 7.

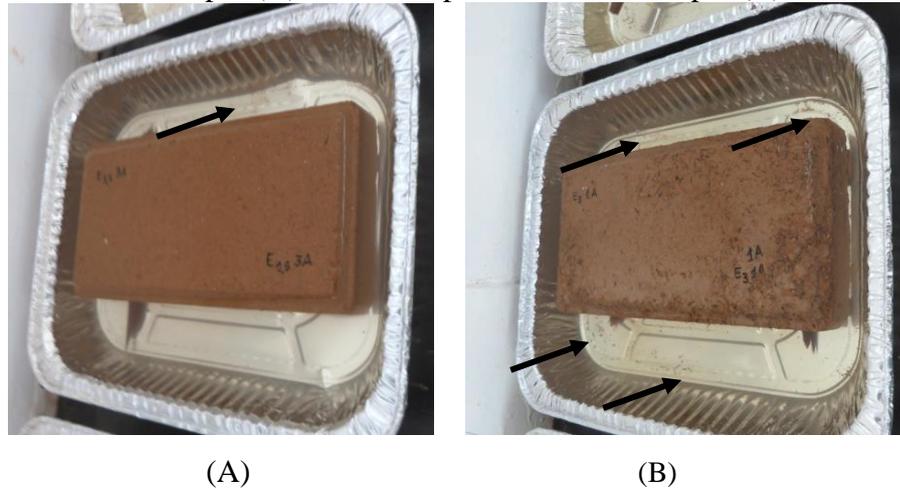
Tabela 28 - Valores médios de perda de massa por imersão antes e após o envelhecimento.

Tratamentos	Perda de massa por imersão	Perda de massa por imersão	Δ
	antes do envelhecimento acelerado (%)	após o envelhecimento acelerado (%)	
Eucalipto 1,5%	0,89 ^(0,45) ns	2,99 ^(1,64) ns	199,00
Eucalipto 3,0%	3,31 ^(0,65) *	33,39 ^(6,42) *	908,76
PET 1,5%	1,39 ^(0,34) ns	5,89 ^(3,50) *	323,74
PET 3,0%	1,13 ^(0,21) ns	15,27 ^(5,37) *	1251,33
Pinus 1,5%	0,48 ^(0,10) ns	4,77 ^(0,38) *	893,75
Pinus 3,0%	2,21 ^(0,68) *	10,29 ^(1,21) *	365,61
Pneu 1,5%	0,82 ^(0,13) ns	5,63 ^(2,19) *	586,59
Pneu 3,0%	2,05 ^(0,94) *	23,47 ^(7,57) *	1044,88
Controle	0,78 ^(0,12)	3,45 ^(1,59)	342,31

*Diferencia-se estatisticamente pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$) do tratamento controle; ns não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$) do tratamento controle. Valores de desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 7 – Ensaio de perda de massa por imersão em tijolos com 1,5% de partículas de eucalipto (A) e 3,0% de partículas de eucalipto (B).



Fonte: Do autor (2019).

Após o ensaio de durabilidade, observa-se que, apenas o tratamento com 1,5% de eucalipto não diferenciou estatisticamente do tratamento controle, os demais tratamentos obtiveram valores superiores ao controle. Apesar de os tratamentos com 1,5% apresentarem valores elevados de perda de massa, os tratamentos com 3,0% de partículas apresentaram valores superiores para esta propriedade. Cabe ressaltar que alguns corpos de prova apresentaram rachaduras e, posteriormente a quebra durante o ensaio, devido ao esfrelamento durante os ciclos de molhagem e secagem, o que reduziu a ligação dos seus constituintes, promovendo o aumento na perda de massa. É importante mencionar que, após o ensaio de envelhecimento, todos os tratamentos apresentaram acréscimo para esta propriedade, como pode ser verificado na Tabela 28.

Lima et al. (2010), estudaram a durabilidade de tijolos solo-cimento com resíduo granítico nas porcentagens de 20, 30 e 40%, foi observado que houve um aumento da perda de massa com o incremento de resíduo de granito, devido ao acréscimo na absorção de água, que pode ser justificado pela quantidade de quartzo e feldspato presentes no resíduo, o que aumentou a variação de volume e, conseqüentemente elevou a quantidade de poros nos tijolos solo-cimento.

Ainda em relação aos dados obtidos, observou-se interação entre o tipo de material utilizado (eucalipto, PET, pinus e pneu) e a porcentagem de partícula utilizada (1,5 e 3,0%) para a propriedade perda de massa por imersão, antes e após o envelhecimento acelerado, como mostra a Tabela 29 e 30, respectivamente.

Tabela 29 – Valores médios de perda de massa por imersão, antes do ensaio de durabilidade, de acordo com o tipo e a porcentagem de material.

Tipo de material	Porcentagem (%)	
	1,5	3,0
Eucalipto	0,89 ^(0,45) aB	3,31 ^(0,65) aA
PET	1,39 ^(0,34) bA	1,13 ^(0,21) cA
Pinus	0,48 ^(0,10) aB	2,21 ^(0,68) bA
Pneu	0,82 ^(0,13) aB	2,05 ^(0,94) bA

Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras minúsculas referem-se aos valores das colunas, enquanto as maiúsculas referem-se aos valores das linhas. Os valores do desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Analisando o tipo de material dentro do reforço com 1,5%, verifica-se que somente o PET diferiu estatisticamente dos demais, apresentando a maior porcentagem de perda de massa. A partícula de PET possui baixa rugosidade superficial, o que pode ter interferido na interação com o cimento e o solo, não promovendo a aderência necessária (Modro et al. 2009) e, conseqüentemente promovendo maior perda de massa, aumentando os poros, conforme pode ser observado na Figura 5B. Apesar disso, a geometria da partícula de PET (Tabela 17), onde se verificou o menor índice de esbelte, auxiliou na disposição das partículas, não proporcionando maior número de poros e evitando a absorção de água (Tabela 25), conforme já discutido.

Ao analisar a adição de 3,0% de partículas verificou-se que houve uma maior perda de massa no tratamento com eucalipto, demonstrando que não houve uma boa compactação do material (Tabela 14), o que promoveu o esfrelamento da sua superfície (Figura 6A). Apesar de o PET ter apresentado a maior perda de massa com 1,5% de partículas, ao adicionar 3,0% deste material de reforço, foi obtido o menor valor para esta propriedade. Quando se compara a Figura 5B com a Figura 6B, observa-se que, mesmo aumentando a porcentagem de reforço, a porosidade da matriz diminuiu, o que pode estar associado com a continuidade de cura do tijolo, o que proporcionou maior aproximação com as partículas de PET, e auxiliou na redução da perda de massa dos tijolos. Os maiores valores para perda de massa apresentados pelos demais tratamentos, com destaque para o eucalipto, ocorreu devido ao esfrelamento, como já mencionado, gerando poros e perda de seus constituintes.

Ao analisar o tipo de material dentro de cada porcentagem, verifica-se que somente o PET não apresentou diferença estatística nas porcentagens de 1,5 e 3,0%. Os demais tratamentos difeririam estatisticamente quando comparadas as adições de 1,5 e 3,0%, sendo

observado um acréscimo da propriedade de perda de massa com o aumento da porcentagem de partículas. Fato associado a compactação dos tijolos, conforme já discutido anteriormente.

Tabela 30 – Valores médios de perda de massa por imersão após o envelhecimento de acordo com o tipo e a porcentagem de resíduo.

Tipo de material	Porcentagem (%)	
	1,5	3,0
Eucalipto	2,99 ^(1,64) aA	33,39 ^(6,42) aB
PET	5,89 ^(3,50) bA	15,27 ^(5,37) bB
Pinus	4,77 ^(0,38) bA	10,29 ^(1,21) bB
Pneu	5,63 ^(2,19) bA	23,47 ^(7,57) bB

Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras minúsculas referem-se aos valores das colunas, enquanto as maiúsculas referem-se aos valores das linhas. Os valores do desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Quando analisado a perda de massa após o envelhecimento acelerado dos tijolos, observou-se para o tipo de material dentro da porcentagem 1,5%, que somente o tratamento com as partículas de eucalipto diferiu estatisticamente dos demais, apresentando o menor valor médio para a propriedade perda de massa (2,99%). Este resultado pode estar relacionado a menor absorção de água observada para este material (Tabela 25), demonstrando que houve uma boa compactação, diminuindo os espaços vazios e proporcionando uma melhor aglutinação dos constituintes. No entanto, ao avaliar o tipo de material dentro da porcentagem de 3,0%, observa-se o mesmo padrão, somente o tratamento com partículas de eucalipto diferiu estatisticamente dos demais, entretanto, apresentou o maior valor médio (33,39%), o que está associado a menor densidade e, também devido ao esfrelamento do tijolo, o que possibilitou o aumento dos poros, a absorção de água e, conseqüentemente o desgaste do material (Figura 1A).

Ao analisar o tipo de material dentro de cada porcentagem, observa-se que todos os tratamentos apresentaram diferença estatística, sendo possível notar que a perda de massa por imersão, com a adição de 3,0% de partículas, possui valores superiores, ou seja, o incremento de partículas influenciou negativamente esta propriedade.

De forma geral, o ensaio de perda de massa por imersão, antes e após o ensaio de durabilidade, demonstrou que a adição de 3,0% de partículas, além de aumentar a quantidade e a junção de partículas por área, o que não promove uma boa aderência à matriz, aumenta

consideravelmente a perda de massa dos tijolos quando imersos em água, uma vez que ocorre o esfarelamento da superfície de alguns tratamentos.

4.3.2 Resistência à compressão antes e após o ensaio de durabilidade

Os valores obtidos para a resistência à compressão dos tijolos solo-cimento, antes e após o ensaio de envelhecimento, estão dispostos na Tabela 31. Observa-se que os tratamentos apresentaram comportamentos distintos antes e após o ensaio de durabilidade.

Tabela 31 – Valores médios de resistência à compressão dos tijolos solo-cimento-partículas.

Tratamentos	Compressão antes do	Compressão após o	Δ
	envelhecimento acelerado (MPa)	envelhecimento acelerado (MPa)	
Eucalipto 1,5%	2,40 ^(0,11) *	2,38 ^(0,02) *	-0,83
Eucalipto 3,0%	0,83 ^(0,20) *	1,00 ^(0,11) *	20,48
PET 1,5%	2,00 ^(0,17) *	2,16 ^(0,03) *	8,00
PET 3,0%	1,65 ^(0,25) ns	2,08 ^(0,05) *	26,06
Pinus 1,5%	1,60 ^(0,11) ns	1,73 ^(0,10) ns	8,13
Pinus 3,0%	1,07 ^(0,06) ns	1,33 ^(0,06) *	24,30
Pneu 1,5%	1,35 ^(0,07) ns	1,43 ^(0,02) *	5,93
Pneu 3,0%	1,00 ^(0,07) *	0,85 ^(0,00) *	-15,00
Controle	1,42 ^(0,35)	1,74 ^(0,02)	22,54

*Diferencia-se estatisticamente pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$) do tratamento controle; ns não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$) do tratamento controle. Valores de desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Anteriormente ao envelhecimento, os tratamentos com 3,0% de PET, 1,5% e 3,0% de pinus e 1,5% de pneu não apresentaram valores significativos quando comparados ao tratamento controle. Já os tratamentos com 1,5% de eucalipto e 1,5% de PET apresentaram valores superiores de resistência e significativos quando comparados ao controle. Os tratamentos com 3,0% de eucalipto e pneu apresentaram queda significativa na resistência.

Após o ensaio de durabilidade, somente o tratamento com 1,5% de pinus não apresentou valor médio significativo quando comparado ao controle e os tratamentos com 1,5% de eucalipto, 1,5% e 3,0% de PET apresentaram valores superiores de resistência, os demais tratamentos obtiveram valores inferiores ao tratamento controle.

A maioria dos tratamentos, após o ensaio de envelhecimento, obtiveram um incremento no ensaio de compressão. Para Milani & Freire (2006), este aumento na

resistência indica o efeito da estabilização do solo com a mistura. Souza et al. (2007), verificaram, em alguns tijolos, o aumento da resistência após os 120 dias de cura. O efeito mais pronunciado foi observado para o tratamento com 3,0% de PET, e colaboram com a discussão feita para explicar a redução da perda de massa dos tijolos.

O melhor desempenho obtido pela adição de 1,5% de partículas pode ser explicado pelas maiores densidades obtidas nos tijolos para estes tratamentos, conforme Tabela 20 e uma melhor compactação, visto que apresentaram o γ_d máximo maior, de acordo com os dados da Tabela 13. Segundo Milani & Freire (2006), há uma relação existente entre as propriedades físico-mecânicas do sistema solo-aglomerante compactado com a densidade, pois, quanto menos vazios no sistema, melhor a interação entre solo-aditivo e, conseqüentemente, maiores as resistências alcançadas.

Os tratamentos com 3,0% de eucalipto e 3,0% de pneu, antes e após o envelhecimento, apresentaram os menores valores médios de resistência à compressão. O menor valor obtido para o tratamento com 3,0% de partículas de eucalipto está relacionado a baixa umidade ótima e γ_d máximo (Tabela 14), menor densidade do tijolo (Tabela 20), maior absorção de água (Tabela 25) e maior perda de massa (Tabela 28), devido a geração de poros. Já o tratamento com 3,0% de partículas de pneu, apesar de apresentar o grau de compactação dentro do estipulado por Bueno & Vilar (1999) (Tabela 23), apresentou baixo valor médio para a resistência à compressão devido a geração de poros no tijolo (Figura 6D), o que elevou a absorção de água (Tabela 25) e a perda de massa (Tabela 28), e reduziu a densidade do tijolo (Tabela 20).

Somente os tratamentos com 1,5% de eucalipto e 1,5% de PET, antes do ensaio de durabilidade, atenderam a ABCP (1988) e a norma NBR 10834 (ABNT, 2012), que estipulam o valor mínimo de 2,0 MPa para resistência à compressão. Após o ensaio de envelhecimento, os tratamentos com 1,5% de eucalipto, 1,5% e 3,0% de PET apresentaram valores superiores e de acordo com o valor mínimo estipulado.

Um fator determinante que pode ter influenciado a baixa resistência à compressão da maioria dos tratamentos, inclusive do controle, que também não atendeu ao mínimo estipulado pela norma, pode ser explicado pela alta quantidade de argila presente no solo (Tabela 16), que, de acordo com Grande (2003), solos com argila em excesso, ao serem misturados com cimento, pode ocorrer a degradação da pasta de cimento, devido à excessiva expansão dos argilo-minerais.

Ainda em relação aos dados obtidos, observou-se interação entre o tipo de material utilizado (eucalipto, PET, pinus e pneu) e a porcentagem de partículas utilizada (1,5 e 3,0%) para a propriedade de resistência à compressão antes e após o ensaio de durabilidade, como mostram as Tabelas 32 e 33, respectivamente.

Tabela 32 – Valores médios de resistência à compressão de acordo com o tipo e a porcentagem de partículas.

Tipo de material	Porcentagem (%)	
	1,5	3,0
Eucalipto	2,40 ^(0,11) aA	0,83 ^(0,20) bB
PET	2,00 ^(0,17) bA	1,65 ^(0,25) aB
Pinus	1,60 ^(0,11) cA	1,07 ^(0,06) bB
Pneu	1,35 ^(0,07) cA	1,00 ^(0,07) bB

Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras minúsculas referem-se aos valores das colunas, enquanto as maiúsculas referem-se aos valores das linhas. Os valores do desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 33 - Valores médios de resistência à compressão após o envelhecimento de acordo com o tipo e a porcentagem de resíduo.

Tipo de material	Porcentagem (%)	
	1,5	3,0
Eucalipto	2,38 ^(0,02) aA	1,00 ^(0,11) cB
PET	2,16 ^(0,03) bA	2,08 ^(0,05) aA
Pinus	1,73 ^(0,10) cA	1,33 ^(0,06) bB
Pneu	1,43 ^(0,02) dA	0,85 ^(0,00) dB

Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras minúsculas referem-se aos valores das colunas, enquanto as maiúsculas referem-se aos valores das linhas. Os valores do desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

Ao avaliar a porcentagem de 1,5% de partículas dentro de cada material, observa-se que os tratamentos com eucalipto e PET, antes e após o ensaio de durabilidade, apresentaram os maiores valores médios de resistência à compressão, sendo estes tratamentos o que também apresentaram maiores densidade (Tabela 20) e baixa absorção de água (Tabela 25), ou seja, apresentaram boas propriedades físicas e mecânicas. Para a porcentagem de 3,0% de partículas, o tratamento com partículas de PET apresentou o maior valor de resistência à compressão, o que pode ser explicado pela baixa presença de poros (Figura 6B).

Analisando o tipo de material dentro de cada porcentagem, houve diferença estatística para todos os tratamentos, com exceção do PET após o ensaio de durabilidade. De forma geral, é possível observar que o aumento da adição de partículas resultou em decréscimo acentuado na resistência à compressão. Segundo Oliveira et al. (2014), a porosidade da mistura pode ter influenciado, aumentando os espaços vazios e, conseqüentemente, reduzindo a resistência mecânica.

4.3.3 Isolamento térmico

Os valores médios de condutividade térmica para todos os tratamentos estão disponíveis na Tabela 34. Variações nos valores médios dos tratamentos em relação ao controle também são mostradas.

Tabela 34 – Valores médios de condutividade térmica dos tijolos solo-cimento.

Tratamentos	Condutividade (W/m°C)	Δ
Eucalipto 1,5%	1,750 ^(0,217) *	-15,05
Eucalipto 3,0%	1,707 ^(0,047) *	-17,14
PET 1,5%	1,814 ^(0,005) *	-11,94
PET 3,0%	1,909 ^(0,028) ns	-7,33
Pinus 1,5%	1,857 ^(0,128) *	-9,85
Pinus 3,0%	1,828 ^(0,064) *	-11,26
Pneu 1,5%	1,881 ^(0,046) ns	-8,69
Pneu 3,0%	1,851 ^(0,184) *	-10,15
Controle	2,060 ^(0,031)	

*Diferencia-se estatisticamente pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$) do tratamento controle; ns não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$) do tratamento controle. Valores de desvio padrão são fornecidos entre parênteses.

Fonte: Do autor (2019).

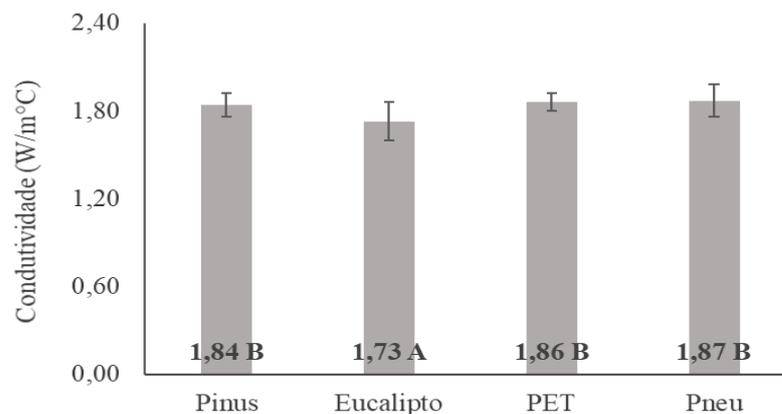
Observa-se que os valores obtidos para os tratamentos com 3,0% de PET e 1,5% de pneu não foram significativos quando comparados ao controle, entretanto, os demais tratamentos possibilitaram uma redução na condutividade térmica, dando destaque para os tratamentos com 1,5 e 3,0% de eucalipto, que apresentaram o menor valor para a condutividade, sendo estes de 1,750 e 1,707 W/m°C, respectivamente. De acordo Latorraca & Albuquerque (2002) e Latorraca & Silva (2003), a mistura cimento-madeira de eucalipto apresenta excelentes propriedades de isolante térmico.

O tratamento com 3,0% de eucalipto destacou-se dos demais por apresentar a menor condutividade térmica, maior absorção de água e menor resistência à compressão. Este fato pode ter sido influenciado pela porosidade nas propriedades dos materiais (SILVA et al. 1999).

Khedari et al. (2005) relatam que a adição de partículas, em materiais utilizando como base o solo, pode promover a redução na condutividade térmica, diminuindo a transferência de calor e reduzindo o consumo energético para o controle da temperatura interna das edificações. Frybort et al. (2008) mencionam que ocorre redução da condutividade térmica com o aumento da quantidade de partículas de madeira. Ao adicionar maiores quantidades de partículas de madeira, a transferência de calor é dificultada pela presença dos materiais de reforço, uma vez que são gerados mais poros, auxiliando no isolamento térmico dos materiais.

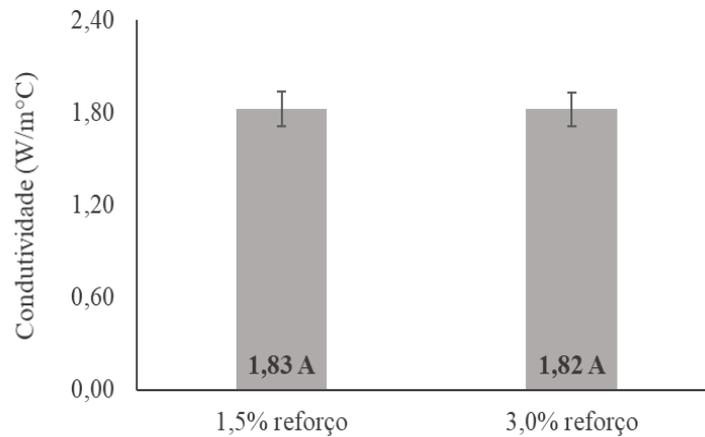
Nas Figuras 8 e 9, observam-se os valores médios obtidos para a condutividade térmica de acordo com as partículas e as porcentagens utilizadas. Não foi observado interação entre os fatores tipo de material e porcentagem de material para a condutividade térmica dos tijolos.

Figura 8 – Valores médios de condutividade térmica obtidos para as partículas de pinus, eucalipto, PET e pneu.



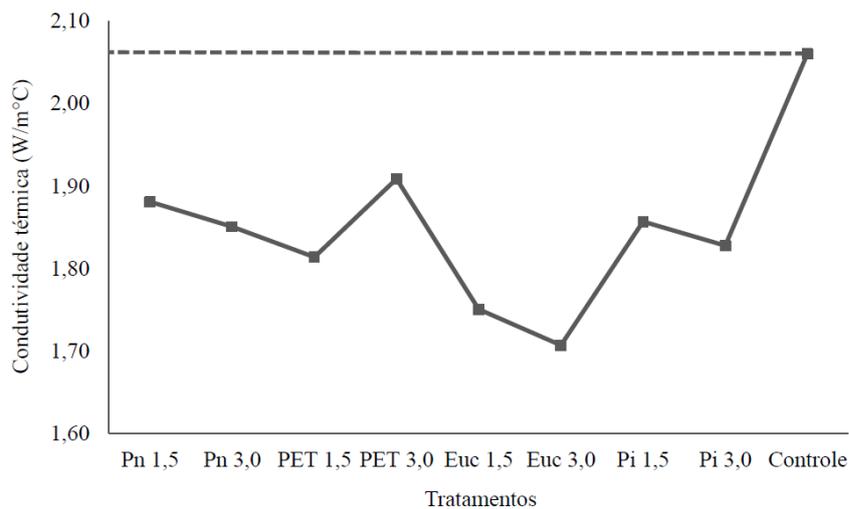
Fonte: Do autor (2019).

Figura 9 – Valores médios de condutividade térmica para as porcentagens de 1,5% e 3,0%.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 10 – Condutividade térmica dos tijolos solo-cimento.



Fonte: Do autor (2019).

Ao analisar a Figura 8, observa-se que somente a partícula de eucalipto diferiu estatisticamente das demais, apresentando o menor valor médio. Como as partículas de eucalipto apresentam paredes mais espessas, a transferência de calor no material é dificultada, uma vez que este processo passará por barreiras que impedirão a sua passagem. Verificando a Figura 9, conclui-se que não houve influência da porcentagem utilizada na condutividade térmica. Tanto a adição de 1,5% ou 3,0% de partículas promoveram uma redução na condutividade térmica, demonstrando a eficácia dos materiais de reforço como dissipadores

de calor, uma vez que as partículas atuaram como obstáculos e também geraram poros que auxiliaram no isolamento térmico.

Na Figura 10, é possível verificar que, de forma geral, os tratamentos apresentaram redução na condutividade térmica, o que é excelente para utilização na construção civil, uma vez que possibilita a redução do calor nos ambientes internos, reduzindo os gastos energéticos e recorrendo ao conceito de sustentabilidade.

As adições de 1,5% e 3,0% de partículas ao tijolo solo cimento provocaram reduções na condutividade térmica, entretanto, os tratamentos com a maior porcentagem de material de reforço não apresentaram resultados satisfatórios para as propriedades físicas e mecânicas.

5 CONCLUSÕES

A inclusão de maiores porcentagens de materiais de reforço resultou na diminuição da resistência à compressão, densidade e condutividade térmica, e no aumento da absorção de água e perda de massa por imersão dos tijolos, não sendo indicado para produção dos tijolos com eucalipto, pinus e pneu.

Os materiais de reforço eucalipto e PET obtiveram destaque para inserção em tijolos. A inclusão de 1,5% de eucalipto, 1,5% e 3,0% de PET promoveram a melhora significativa da resistência à compressão, atendendo ao mínimo estipulado pela norma de comercialização, mesmo após o ensaio de durabilidade. Esses tratamentos obtiveram absorção de água e perda de massa por imersão similares aos obtidos para os tratamentos controle e, ainda obtiveram melhora significativa quanto ao isolamento térmico, sendo, portanto indicado para produção de tijolos solo-cimento reforçados.

Não é aconselhada a utilização de partículas de pneu como material de reforço, uma vez que este material sofre influência da taxa de retorno, provocando poros, o que influencia negativamente suas propriedades físicas e mecânicas.

REFERÊNCIAS

- AGOPYAN, V. et al. Developments on vegetable fibre-cement based materials in São Paulo, Brazil: An overview. **Cement and Concrete Composites**, Kidlington, v. 27, n. 5, p. 527-536, 2005.
- AGRAFIOTIS, C.; TSOOTSOS, T. Energy saving technologies in the European ceramic sector: a systematic review. **Applied Thermal Engineering**, v. 21, n. 12, p. 1231-1249, Aug. 2001.
- ALBERTO, M. M.; MOUGEL, E.; ZOULALIAN, A. Compatibility of some tropical hardwoods species with Portland cement using isothermal calorimetry. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 9, p. 83-88, 2000.
- ALBUQUERQUE, L. Q. C., et. al. Resistência a compressão de tijolos de solo-cimento fabricados com montículos do cupim *Cornitermes cumulans*. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 32, n. 2, p. 553-560, 2008.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO. Disponível em: http://www.cct.udesc.br/arquivos/id_submenu/1470/classificacao___rodoviaria___hrb.pdf Acesso em abril/2017.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3282-15**: Standard practice for classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes. West Conshohocken, PA, United States, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – ABIPET. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=72> Acesso em junho/2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – ABIPET. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3> Acesso em abril/2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/> Acesso em julho/2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Boletim Técnico 112** - Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. São Paulo, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Dosagem das misturas de solo-cimento – normas de dosagem. São Paulo: ABCP, **Estudo Técnico ET - 35**, 1986. 51p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Guia de construções rurais à base de cimento. São Paulo – SP, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Densidade básica da madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica. Rio de Janeiro: ABNT, 2012, versão corrigida: 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14984**: Madeira: Determinação da densidade aparente de cavacos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853**: Madeira – Determinação do material solúvel em etanol, tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999**: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira – Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989**: Pasta celulósica e madeira – Determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. Versão corrigida: 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12023**: Solo-cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. Versão corrigida: 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: Tijolo Maciço de Solo-Cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo Maciço de Solo-Cimento - Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção D'Água. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS – ANIP. Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/producao-vendas.pdf> Acesso em junho/2017.

ASTM **D570–98** (2018). Standard test method for water absorption of plastics.”, Philadelphia, 2018.

BARBOSA, N. P.; MATTONE, R.; MESBAH, A. **Blocos de concreto de terra: uma opção interessante para a sustentabilidade da construção**. Biblioteca SEBRAE Online.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/268431190_Blocos_de_Concreto_de_Terra_Uma_Opcao_Interessante_Para_a_Sustentabilidade_da_Construcao Acesso em julho/2017.

BARROS, R. M. Tratado sobre resíduos sólidos: Gestão, usos e sustentabilidade. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2012.

BASSET, G. Swelling, shrinking and fire resistance. **Asian Timber**, v. 13, n. 10, p. 28-33, 1994.

BATAYNEH, M. K.; MARIE, I.; ASI, I. Promoting the use of crumb rubber concrete in developing countries. **Waste Management**, Oxford, v. 28, n. 11, p. 2171-2176, 2008.

BENSO, M. R.; WASTOWSKI, A. D.; ROSA, G. M. Uso de resíduos na fabricação de tijolos sustentáveis. **Anais... 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**. Bento Gonçalves – RS, abril de 2014.

BERALDO, A. L.; CARVALHO, J. V. Efeito de variáveis nas características de compósito Eucalipto-cimento. **Anais... XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Fortaleza, Ceará. Brasil, p. 17-29, 2000.

BERALDO, A. L.; PIMENTEL, L. L. Efeito de tratamentos físico-químicos sobre a resistência à compressão de compósitos de partículas de pinus e cimento. **Anais... XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, São Paulo, SP, Brasil, p 119-128, 1999.

BLUCHER, E. **Mecânica dos solos para engenheiros rodoviários**. Vol. 1, São Paulo. Ed. Blucher, 1951.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do abastecimento. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, CNPS/EMBRAPA, 1997, 212p.

BUENO, B. S.; VILAR, O. M. 1999. **Mecânica dos solos**. Vol. I. Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 1999. 131 p.

CANELLAS, S. S. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia), Centro Técnico Científico, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2005.

CAPANEMA, D. C. O.; GALVÃO, F. H.; SANTANA, K. M. F.; ALEXANDRE, R. A. S.; COSTA, T. A. R. Estudo do uso de rejeitos como agregados para o concreto. **Percorso Acadêmico**, Belo Horizonte, v. 4, n. 7, jan./jun. 2014.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L. Congresso Brasileiro de Polímeros. In: Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2001, Gramado, RS., p.566, 2001.

CASANOVA, F. J. O solo como material de construção. **Revista Habitare**, 2004. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/ConteudoGet.aspx> Acesso em: julho/2017.

CEPED – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. **Manual de construção com solo-cimento**. Camaçari: CEPED, 1984. 116p.

Classificação Rodoviária. **HRB**. Disponível em:

http://www.cct.udesc.br/arquivos/id_submenu/1470/classificacao__rodoviaria__hrb.pdf
Acesso em: maio/2017.

CRISTELO, N., CUNHA, V., DIAS, M., TOPA GOMES, A., MIRANDA, T., ARAÚJO, N., 2015. Influence of discrete fibre reinforcement on the uniaxial compression response and seismic wave velocity of a cement-stabilised sandy-clay. **Geotext. Geomembr.** 43 (1), 1–13, 2015.

CRUZ, M. L. S. **Novas tecnologias da aplicação de solo-cimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Minho, Portugal, 2004.

CYTRYN, S. **Soil construction: its principles and application for housing**. State of Israel – Ministry of Labor – House Division. The Weizmann Science Press of Israel, Jerusalém, 1957.

FAN, M.; NDIKONTAR, M. K.; ZHOU, X.; NGAMVENG, J. H. Cement-bonded composites made from tropical woods: Compatibility of Wood and cement. *Construction and Building Materials*, v. 36, p. 135-140, 2012.

FERRARI, V. J.; SOUZA, A. H. C.; BALTAZAR, H. P.; DOTTO, W.; VIEIRA NETO, J. G. Tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 131-148, jul./set. 2014.

FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A. S. Estudo da adição de resíduos de argamassa de cimento nas propriedades do solo-cimento. **Anais... I Conferência latino-americana de construção sustentável x encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**, 2004.

FERREIRA FILHO, E. M. **Construção com solo cimento**. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/Artigos/artigo7.htm> Acesso em: maio/2015.

FERREIRA, R. C.; OLIVEIRA, M. F. Incorporação de resíduos vegetais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de misturas de solo cimento para fins de construção rural. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v 37. n4. p.204-213, 2007.

FONTES, P. J. P. **Auto-suficiência energética em serraria de *Pinus* e aproveitamento dos resíduos**. Dissertação. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 1994.

FREDLUND, D. G.; XING, A. Equations for the Soilwater Characteristic Curve. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 31, p. 521-532, 1994.

FRYBORT, S. et al. Cement bonded composites - a mechanical review. **Bioresources**, v.3, n.2, p.602-623, 2008.

GARCEZ, M. R.; GARCEZ, E. O.; MACHADO, A. O.; GATTO, D. A. Cement-wood composites: effects of wood species: particle treatments and mix proportion. **International Journal of Composite Materials**, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2016.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2003, 165p.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal – fundamentos e aplicações na construção civil**. São Paulo, Pini, 1998.

HENDGES, A. S. **Fibras vegetais**. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2010/07/28/saiba-mais-fibras-vegetais-artigo-de-antonio-silvio-hendges/> Acesso em julho/2017.

HIGHWAY RESEARCH BOARD – HRB. **Soil stabilization with Portland cement**. Bulletin 292, Washington, D. C., 1961.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Anual 2017**. Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf Acesso em abril/2018.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados da alta densificação com o uso de resina melanina-uréia-formaldeído, **Cerne**, Lavras, v.11, n.4, p. 323-328, out/dez. 2005.

JARA, E. R. P. **A geração de resíduos pelas serrarias**. São Paulo: IPT, 1987. (Boletim ABNT, n. 59).

JOHN, V. M. **Materiais de Construção Civil e Princípios da Ciência e Engenharia de Materiais**. 1ª Ed. v1, IBRACON: São Paulo, 2007.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Materiais reforçados com fibras vegetais. **Anais...** Simpósio internacional sobre materiais reforçados com fibras para construção civil. EPUSP, São Paulo. 2 de julho de 1993. p. 27-38.

KHEDARI, J.; WATSNASATHAOIRN, P.; HIRUNLABH, J. Development of fibre-based soil cement block with low thermal conductivity. **Cement & Concrete Composites**, Kidlington, v.27, n.1, p.111-16, 2005.

- LATORRACA, J. V.; SILVA, G. C. Compósitos Cimento-Cadeia de Eucalipto. **Anais... II Seminário de produtos sólidos de madeira de Eucalipto – SIF –**. Viçosa, Minas Gerais, Brasil, p. 75-86, 2003.
- LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Produção de painéis cimento madeira de eucalipto. **Anais... Seminário Sólidos de Eucalipto: Avanços Científicos e Tecnológicos**, 26 a 27 de junho 2002. Lavras, Minas Gerais.
- LIMA, R. C. O.; NEVES, G. A.; CARVALHO, J. B. Q. Durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduo de corte de granito. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 5.2, 2010.
- LOPES, W. G. R. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico mecânicas**. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas – SP. 2002.
- MACIEL, A. S.; VITAL, B. R.; DELLA LÚCIA, R. M.; PIMENTA, A. S. Chapas de madeira aglomerada produzidas com partículas de Eucalyptus grandis W. Hill ex maiden, poliestireno (OS) e polietileno tereftalato (PET). **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 53-66, jan./jun. 2004.
- MATTOSO, L. H. C.; PEREIRA, N. C.; SOUZA, M. L.; AGNELLI, J. A. M. - Brasília: EMBRAPA Produção e Informação. In: Odilon R. R. F. da Silva; Napoleão E D M Beltrão. (Org.). *O Agronegócio do Sisal no Brasil*. 1. ed., p.161, 1999.
- MENDES, R.; ZANOTTI, R. A. R.; MENEZES, J. C. S. S. Produção de Solo-Cimento (Tijolo Ecológico) Utilizando Resíduo do Polimento de Grés de Porcelanato como Fonte de Sílica. **Revista de Engenharia Civil IMED**, 1(1): 50-55, 2014.
- MENDONÇA, A. A.; LIMA, D. C. 1998. Caracterização tecnológica de misturas solo-cal: estudo de caso dirigido a dois solos de Viçosa-MG. p.178-185. **Anais... In Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica**, 11. Brasília, Distrito Federal, 1998. 789p.
- MÉTODOS DE ENSAIO DETERMINAÇÃO DA PERDA DE MASSA POR IMERSÃO DE SOLOS COMPACTADOS COM EQUIPAMENTO MINIATURA. Recife, 2003. Vol 12/**ME-61**.
- MILANI, A. P. S.; FREIRE, W. J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.1-10, 2006.
- MILLER, G. A.; AZAD, S. Influence of soil type on stabilization with cement kiln dust. In: *Construction and Building Materials* n° 14. **Elsevier Science**, p. 89-97, 1998.
- MIRANDA, R. A. C.; BACARJI, E.; FERREIRA, R. C. Estudo da aplicação de resíduo de beneficiamento de mármore e granito em tijolos de solo-cimento. **Anais... IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre edificações e comunidades sustentáveis**, Rio de Janeiro, 2007.

MONTARDO, J. P.; CONSOLI, N. C.; PRIETTO, P. D. M. Comportamento mecânico de compósitos Solo-Cimento-Fibra: Estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes. **Revista Solos e Rochas**, 24 (3), p. 191-209, 2001.

MODRO, N. L. R.; MODRO, N. R.; OLIVEIRA, A. P. N. Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. **Revista Matéria**, v 14, n 1, 2009.

MOTA, J. D. et al. Utilização do resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais na confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento. **Anais... 2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólido**, 2010.

MOTTA, J. C. S. S.; MORAIS, P. W. P.; ROCHA, G. N.; TAVARES, J. C.; GONÇALVES, G. C.; CHAGAS, M. A.; MAGESTE, J. L.; LUCAS, T. P. B. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **exacta**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 13-26. (2014). Editora UniBH.

NETO, J. F. D.; CARTAXO, J. M.; NEVES, G. A.; MENEZES, R. R. Processos de adsorção de corantes em argilas esmectíticas: uma revisão. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 9, n. 1, 2014.

NORTON, F. H. **Introdução a Tecnologia Cerâmica**. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 1973.

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. 02, n. 01, p. 53-57, jan./mar. 2014.

PCA – **Portland Cement Association. Soil-cement construction handbook**. Illinois, 1969. 42p.

PARK, S. S. 2008. Effect of fiber reinforcement and distribution on unconfined compressive strength of fiber-reinforced cemented sand. **Geotext. Geomembr.** 27, 162–166, 2008.

PAULA, P. R. F. **Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Católica de Pernambuco, Recife/PE, 2010.

PEREIRA, A. M.; FAZZAN, J. V.; FREITAS, V. Análise da viabilidade do uso da fibra de borracha de pneu como reforço em tijolo de solo cimento. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 03, n. 20, 2015, pp. 53-65.

PINHEIRO, M. L.; ALVARENGA, R. C. S. S.; RIBEIRO, B. C.; SILVA JÚNIOR, P. R. S.; SARMET, M. S.; FASSONI, D. P. Avaliação experimental de blocos prensados de solo-cimento com adição de grits. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 29-46, abr./jun. 2013.

PINHEIRO, R. J. B.; SOARES, J. M. D. Utilização de Solos Arenosos para Obtenção de Tijolos de Solo-Cimento. **Cerâmica Industrial**, 15 (5-6), 2010.

PINTO, C. S. Propriedades dos solos. **In: Fundações: teoria e prática**. São Paulo, 1998.

PINTO, T. P. **Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento**. São Paulo: ABCP, 1980. 22p.

PRESA, M. B. **Resistência à compressão e absorção de água em tijolos de solo cimento**. Monografia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.

PROMPT, C. **Curso de Bioconstrução. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável**. Departamento de Desenvolvimento Rural Sustentável. Brasília: MMA, 2008. 64 p.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibers as reinforcement of cement-based composites. **Cement and Concrete Composites**, v.22, n.25, p.379-384, 2000.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; DANTAS, F. A. S.; AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras: correlação entre a zona de transição fibra-matriz e as propriedades mecânicas**. São Paulo: IPT/Pini, 1994.

SEGANTINI, A. A. S. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira (SP)**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000. 176f.

SEGANTINI, A. A. S.; WADA, P. H. Estudo de dosagens 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.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE. **Fábrica de tijolos ecológicos**. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-tijolos-ecologicos,ce387a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD> Acesso em jan./2019.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM DO TRANSPORTE – SENAT. Disponível em: <http://www.sestsenat.org.br/Imprensa/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil> Acesso em junho/2017.

SERVIÇO SOCIAL DO TRANSPORTE – SEST. Disponível em: <http://www.sestsenat.org.br/Imprensa/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil> Acesso em junho/2017.

SILVA, L. C. et al. Análise das propriedades mecânicas e térmicas de tijolos solocimento com e sem adição do pó da fibra de coco, Estado da Paraíba no **Anais** do 12º Congresso, 1999.

SILVA, M. S. **A terra crua como alternativa sustentável para a produção de habitação social**. Escola de Engenharia de São Carlos. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SOARES, A. F.; ROCHA, R. B.; ELMI, S.; HENRIQUE, M. H. P.; MOUTERDE, R.; ALMERAS, Y. Le Sous-bassin nord-lusitanien du Trias au Jurassique moyen: histoire d'un 'rift avorte'. **Rendus de l'Académie des Sciences**. Série II. Paris; 1996.

SOUZA JUNIOR, J. D. **O Efeito da Energia de Compactação em Propriedades dos Solos Utilizados na Pavimentação do Estado do Ceará**. Mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, 2005. 211p.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.205–212, 2007.

SPECHT, L. P. et al. Comportamento de misturas Solo-Cimento-Fibra submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos. **Revista Solos e Rochas**, São Paulo, 25 (1) 15-34, Janeiro-Abril, 2002.

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. **A tecnologia da reciclagem de polímeros**. Química Nova, v.28, n.1, p.65-72, 2005.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. Materiais biomiméticos: **materiais de construção inspirados na natureza**. Net, Portugal, 2011, Portal Capes.

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; SANTOS, R. T.; BRANDELERO, C.; KOEHLER, H. S. Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) o. Kuntze. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

VENDRUSCOLO, M. A. **Estudo do comportamento de materiais compósitos fibrosos para a aplicação como reforço de base de fundações superficiais**. Porto Alegre, 2003. 224p. Tese (Doutorado em engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VILELA, A. P.; SILVA, D. W.; MENDES, L. M.; MARTINS, M. A.; VAZ, L. E. V. S. B.; MENDES, R. F. Surface modification of tire rubber waste by air plasma for application in wood-cement panels. **BioResources**. vol 13, n°3, 2018.

YANG, Y.; WANG, G.; XIE, S.; TU, X.; HUANG, X. Effect of mechanical property of cemented soil under the different pH value. **Applied Clay Science, School of Engineering and Technology**, Beijing, v. 79, p. 19-24, 2013.