

ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE CINZAS DE CALDEIRA BIOMASSA PARA A PRODUÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO

BOARO. Bianca A.¹; SOUZA. Isabelle E. C.¹

MELO. Elaine Alves²

Universidade São Francisco

bianca.boaro@mail.usf.edu.br; isabelle.souza@mail.usf.edu.br

¹Bianca Amorim Boaro, Aluna do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus de Campinas – SP.

¹Isabelle Ermeline Candido de Souza, Aluna do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus de Campinas – SP.

²Professora Orientadora, Elaine de Alves Melo, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus de Campinas – SP.

Resumo

O tijolo solo-cimento ou tijolo ecológico, é resultado de um processo evolutivo de milhares de anos, uma mistura de solo, cimento e água, que depois de prensado passa pelo processo de cura úmida e secagem, onde atingirá a resistência esperada sem a necessidade do aquecimento no forno, deixando de liberar inúmeros gases que podem impactar no efeito estufa da atmosfera. Os detalhes em seu formato facilitam o assentamento na obra, que é realizado por meio de encaixes entre as peças, dispensando o uso de argamassas para fixação. Diante da busca por técnicas e materiais de construção civil que minimizem o impacto do uso dos recursos naturais no meio ambiente, alinhada à necessidade de menor dependência do descarte inadequado de resíduos que podem poluir a natureza, o presente estudo investigou a viabilidade do reaproveitamento de cinzas provenientes de uma caldeira Biomassa para a fabricação de tijolos solo-cimento com resistência exigida por normas para serem utilizados no ramo da construção civil. Inicialmente foram realizados estudos laboratoriais envolvendo a fabricação de corpos de prova com a substituição de partes do solo pelos resíduos, com a ideia de incluir as cinzas da caldeira Biomassa na composição do tijolo solo-cimento. Após ensaios de determinação da resistência à compressão e testes de absorção da água nos corpos de prova, concluiu-se que as cinzas da caldeira incorporadas na composição do tijolo solo-cimento, é uma solução tecnicamente e economicamente viável para uso na construção civil, uma excelente substituição de parte do solo na mistura. Essa abordagem não apenas permite que a empresa que utiliza a caldeira Biomassa reduza os custos associados ao descarte do material, mas também lhe confere benefícios em termos de marketing e inovação no campo do gerenciamento de resíduos, evitando a destinação incorreta das cinzas, além de reduzir o custo do processo de fabricação do tijolo.

Palavras-chave: Tijolo solo-cimento, resíduos, meio ambiente, Biomassa, construção civil.

Introdução

Esse estudo propõe investigar a viabilidade do aproveitamento do resíduo de cinzas provenientes de uma caldeira biomassa para a fabricação de tijolos que apresentam

propriedades de liga, resistência e absorção adequadas para aplicação na indústria da construção civil. O objetivo primordial do projeto é oferecer uma destinação sustentável para esse resíduo, evitando o descarte no meio ambiente e eliminando a necessidade de fornos na produção de tijolos, o que reduziria a emissão de gases na atmosfera. Essa abordagem não apenas permite que a empresa que utiliza a caldeira biomassa reduza os custos associados ao descarte deste material, mas também lhe confere benefícios em termos de marketing social e ecológico. Este método contribui significativamente para a preservação do meio ambiente e representa uma inovação no gerenciamento de resíduos.

Com este estudo, são obtidas informações que possibilitarão a comparação entre a produção de tijolos solo-cimento tradicionais e tijolos solo-cimento com a substituição de parte do solo por resíduos de cinzas, e então confirmarão a viabilidade de produção deste material para uso na construção civil, beneficiando a empresa e o meio ambiente. Os tijolos produzidos através da reutilização do resíduo, poderão ajudar na redução de custos da construção de casas para as comunidades carentes da região, já que é um material financeiramente mais acessível.

Nos dias atuais a sustentabilidade tem sido um tema presente e relevante, principalmente quando se trata do ramo da construção civil, e a escassez dos recursos naturais é uma das principais razões para o aumento da busca pelo tema. Desta maneira, procura-se todos os dias, técnicas e materiais que minimizem esse impacto no meio ambiente, e a fabricação e uso do tijolo solo-cimento é uma delas (MOTTA, 2014).

Segundo Pereira (2003), o tijolo solo-cimento ou tijolo ecológico, como também é conhecido popularmente, é uma mistura de solo, cimento e água, que depois são prensados, e em seguida passa pelo processo de cura úmida e secagem, onde atingirá a resistência esperada, sua fabricação promove um impacto ambiental positivo, já que reaproveita os resíduos gerados na construção civil e demolição, como restos de concreto, argamassas, telhas e tijolos, e adquire resistência mecânica sem a necessidade do aquecimento no forno, deixando de liberar inúmeros gases que podem impactar no efeito estufa na atmosfera. O tijolo ecológico permite o encaixe entre as peças, podendo ser executado com pouca ou nenhuma argamassa entre elas, aplicando assim conceitos de sustentabilidade em sua fabricação e durante a execução da obra.

A busca pela sustentabilidade no ramo da geração de energia aliada à necessidade de menor dependência de combustíveis fósseis é uma necessidade comum nas indústrias. A caldeira biomassa é um equipamento industrial destinado à geração energia através do vapor, utilizando para isso diversas variações de biomassa, como derivados de madeira,

resíduos agroindustriais, cana-de-açúcar, etc. Esse tipo de caldeira traz vantagens do ponto de vista sustentável, como a não emissão do dióxido de enxofre que é tão poluente ao meio ambiente, utiliza combustível renovável, possui maior eficiência energética, e proporciona o reaproveitamento dos resíduos impedindo que fossem descartados incorretamente (Lorensetti, 2019).

O processo de queima da biomassa gera um resíduo sólido chamado de cinza, desta forma, ao passo que a demanda por produção de energia aumenta, os resíduos deste processo de queima também crescem, podendo gerar grandes desafios relacionados à gestão desses subprodutos. O descarte final mais comum dessas cinzas ainda são os aterros industriais, gerando elevados custos para seu transporte e descarte no local. Estes altos custos para destinação do resíduo, aliados ao impacto ambiental que o seu descarte incorreto pode causar, são as principais motivações para o estudo de reuso deste material (BACKES et al. 2022).

Uso de tijolo solo-cimento no Brasil

O solo é um material denso e resistente, proveniente da fragmentação das rochas ocasionada por ações físicas ou químicas, e é composto por uma mistura natural de diversos minerais, podendo conter parcelas de matéria orgânica (CYBELE, 2001 apud NUNES et al, 2019).

Segundo Cytryn (1957 apud GRANDE, 2003) a utilização do solo foi a primeira solução encontrada pelo homem primitivo para construção de abrigos contra os perigos do meio ambiente, em locais que não eram encontradas pedras e madeira com facilidade. Cunha (1978 apud GRANDE, 2003) acrescenta que a técnica de construção utilizando terra foi o início de uma nova era, e há evidências arqueológicas de que as construções com blocos de terra já eram comuns no final do período neolítico.

O tijolo ecológico, como conhecido popularmente, é resultado de um processo evolutivo de milhares de anos, a construção mais antiga que se conhece usando uma técnica precursora a esta é a pirâmide de Quéops, construída em 2600 a.c., para sua construção eram moldados blocos com a mistura de terra, óleo de baleia, conchas e mariscos triturados e água. Foi a partir de 1960 que os estudos sobre o tijolo solo-cimento se intensificaram no Brasil, e desde então seu processo de produção avança cada vez mais (GASPAR, 2020).

O que é o tijolo solo-cimento

Segundo a NBR 8491:2012, o tijolo solo-cimento é um componente de alvenaria constituído de uma mistura homogênea de solo, cimento Portland e água, e também podem ser usados aditivos e pigmentos em proporções que permitam atender os requisitos da norma. O bloco pode ser maciço ou vazado, e sua altura (H) deve ser menor do que sua largura (L) conforme figura 1. A massa compactada passa pelo processo de cura úmida, onde, em poucos dias, adquire resistência à compressão, bom índice de absorção de água, baixa retração volumétrica e boa durabilidade, características ideais para o uso em obras de construção civil, sem a necessidade de queima durante o processo de fabricação do material.

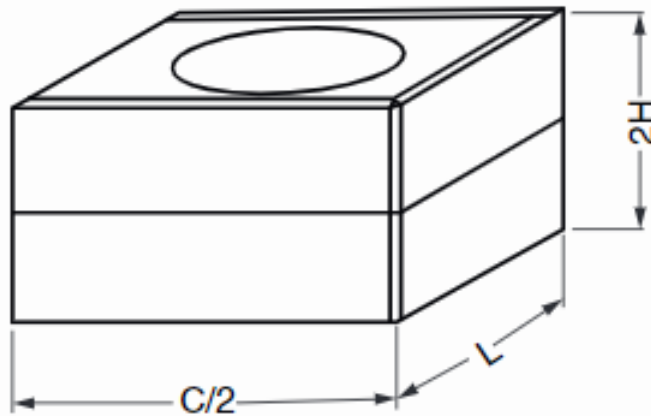


Figura 1 – Tijolo solo-cimento (Fonte: ABNT NBR 8492:2012).



Figura 2 – Tijolo modular de solo-cimento (Fonte: Tijoloecológico.br).

Diversos tipos de solo podem ser usados na composição do tijolo, entretanto os solos mais apropriados são os arenosos, que possuem teor de areia entre 50% e 70%. Somente os solos que contêm matéria orgânica em sua composição são contraindicados.

Os detalhes no formato do tijolo ecológico facilitam seu assentamento na obra, que é feito por meio de encaixe das peças, sem a utilização da argamassa para fixar uma peça na outra, gerando economia e agilidade no processo de construção. Os furos tem o propósito de receber as ferragens e o concreto, e facilitam a passagem dos eletrodutos, conduítes e tubulações hidrossanitárias, evitando quebras e reduzindo drasticamente a geração de entulhos na obra (NUNES, 2019).



Figura 3 – Construção utilizando tijolo solo-cimento (Fonte: Escolaengenharia.com.br).

Solo

Atualmente existem estudos científicos onde há a incorporação de aditivos ou resíduos na fabricação do tijolo solo-cimento, obtendo-se resultados satisfatórios e positivos em relação às propriedades determinadas por normas, trazendo também o benefício para o meio ambiente, com uma projeção de aumento da preservação ambiental. O solo utilizado na produção do tijolo solo-cimento pode ter muitas variações, como o solo puro, apenas argila e areia na proporção tradicional citada em norma, ou pode apresentar variados tipos de resíduos substituindo uma porcentagem do solo na mistura. Atualmente existem estudos desta substituição com resíduos de obra e demolições, com a adição de fibras vegetais e cal, entre outros (CARVALHO, 2019).

O tijolo ecológico é constituído de três principais materiais, sendo eles o solo, o cimento e a água, essa mistura precisa ser homogênea para que possa ter uma boa compactação na hora da produção do tijolo, e o traço a ser escolhido pode variar entre 1:7

a 1:14 sendo a proporção solo: cimento, deve-se escolher o traço que atende os requisitos de absorção e resistência mínimos para que atinja o resultado esperado (NBR 8491, 2012).

De acordo com a norma ABNT NBR 10833 (2012, p. 2) *apud* ABNT NBR NM ISO 3310-1 o solo que deve ser utilizado na fabricação do tijolo ecológico não pode obter material orgânico em quantidade que prejudique a hidratação do cimento, caso possua, recomenda-se seguir a norma ABNT NBR 17053, que é a substituição da norma ABNT NBR NM 49. É desejável que o solo tenha de 10 a 20% de argila com 10 a 20% de silte, e 50 a 70% de areia (MOTTA *et al.*, 2014).

Cimento Portland

O cimento é um pó fino que possui propriedades aglomerantes, e ganha resistência mecânica após seu contato com a água. Na forma de concreto, torna-se uma pedra que pode ganhar formas e volumes desejados, de acordo com as necessidades de cada obra. Graças às características peculiares que concede a argamassas e concreto, como a trabalhabilidade e moldabilidade, alta durabilidade e resistência a cargas e a fogo, o Cimento Portland pode ser empregado tanto em peças de mobiliário urbano, quanto em grandes barragens, edificações, pontes, estradas, tubos de concreto, telhados, e até como matéria prima para a arte (ABCP, 2023).

Existem 8 opções de Cimento Portland no mercado que atendem aos mais variados tipos de obras, algumas delas ainda possuem adições em sua mistura, sendo elas: Cimento Portland Comum (CP I), Cimento Portland Composto (CP II), Cimento Portland de Alto Forno (CP III), Cimento Portland Pozolânico (CP IV), Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS), Cimento Portland de baixo calor de hidratação (BC) e o Cimento Portland Branco (CPB).

Cinzas da Caldeira Biomassa

A cinza de caldeira é um resíduo proveniente da queima de biomassa em indústrias, possui composição química e mineralógica¹ diversificadas, e suas principais destinações são aterros locais. A composição química da cinza depende da queima da

¹ Composição mineralógica: principais características minerais da amostra.

matéria-prima e sua composição mineralógica está relacionada a fatores como a temperatura, umidade do material e processo de incineração adotados. A cinza possui uma característica heterogênea em sua composição química e morfológica² (GONÇALVES, 2021).

De acordo com a pesquisa de Costa et al (2019 apud GONÇALVES, 2021) a incorporação do resíduo de cinza de biomassa lenhosa em materiais de construção civil mostrou ser uma alternativa viável, já que reduz a extração e o processamento de matérias-primas, acarretando em melhorias no desempenho ambiental, e uma vez que o transporte e pré-processamento das cinzas afetam os potenciais impactos na utilização destes resíduos, também devem ser considerados na gestão das cinzas biomassa.

Outro estudo, desenvolvido por pesquisadores na Índia, o chamado de tijolo Eco Blac foi produzido com 70% de cinza de caldeira misturada com hidróxido de sódio, cal e argila. Sem a necessidade de ir ao forno à temperatura de 1000 °C consumindo grande quantidade de combustível, como os tijolos tradicionais, o Eco Blac pode realizar o processo de cura à temperatura ambiente, não emitindo gases nocivos ao meio ambiente (NUNES, 2015).

Materiais e Métodos

Para comprovar a viabilidade do tijolo solo-cimento utilizando dois tipos de cinzas da caldeira biomassa, foram realizados ensaios laboratoriais onde a primeira amostra do resíduo foi retirada da grelha da caldeira (cinza graúda) proveniente da queima de moveis de madeira reciclados, podendo conter vidros, plásticos e areia em sua mistura, e a segunda amostra (cinza fina) foi coletada no final do processo de queima da biomassa, sendo composta apenas por cinzas de madeira. Foi utilizado na fabricação do tijolo o Cimento Portland Composto (CP II-F-32), segundo a ABNT NBR 16697:2018, o cimento possui material carbonático (elemento finamente dividido, constituído em sua maior parte de carbonato de cálcio) e a classe 32 representa seu o valor mínimo de resistência à compressão (em Mpa) aos 28 dias de idade. O CP II-F-32 tem em sua composição 94-90% de Clinquer + gesso e 6-10% de material carbonático. O solo utilizado no projeto é proveniente de doação de uma obra da cidade de Campinas-SP.

² Morfologia é a ciência que se dedica ao estudo da forma e da estrutura dos organismos. Isso inclui aspectos da aparência externa, como forma, estrutura e cor, bem como de partes internas, como ossos e órgãos (FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ, 2014).

Na primeira etapa foi executada a preparação dos materiais para a realização dos corpos de prova, começando pela classificação do solo com a análise granulométrica de acordo com a norma ABN NBR 7181 *apud* ABN NBR 6457. Foi separado uma amostra de solo e levado para secar na estufa de 105°C a 110°C até que o solo estivesse com uma umidade higroscópica³. Após a retirada da estufa toda a amostra foi depositada em um almofariz e, com o auxílio da mão de grau, o solo foi destorroado com leveza para não quebrar as partículas.



Figura 4—Solo seco no almofariz (Fonte: Próprio autor).



Figura 5— separação de 1kg de solo destorroado (Fonte: Próprio autor).

Uma amostra de 1kg de solo destorroada e seca foi passada pela peneira de 2,00mm, e do solo que passou pela peneira foi retirado 120g que foi lavado em água corrente, pesado e levado até a estufa para secar, onde, de dez em dez minutos a amostra

³ Segundo Reinert, et al (2016) a umidade higroscópica é uma denominação para a umidade que o solo apresenta quando é seco ao ar natural.

era retirada e pesada novamente, esse processo repetiu-se até ser obtido uma constância da massa.




Figura 6— Amostra de 1kg sendo passada na peneira de 2mm (Fonte: Próprio autor).



Figura 7— Separação da amostra (Fonte: Próprio autor).

TABELA 1— Pesagens da amostra de 120g.

		Tabela de pesagens										
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	
	Original lavado	Pesagem	Pesagem	Pesagem	Pesagem	Pesagem	Pesagem	Pesagem	Pesagem	Pesagem	Pesagem	
Peso	120,08g	165,16g	162,77g	134,24g	129,13g	119,20g	111,00g	104,37g	96,44g	92,90g	90,75g	90,75g
Horario	17:25	17:35	17:45	17:55	18:05	18:15	18:25	18:35	18:45	18:55	19:05	19:15

Fonte: Próprio autor (2023).

O material que ficou retido na peneira de 2,00mm foi passado pelo conjunto de peneiras que a norma ABNT NBR 7181 classifica como peneiramento grosso com o auxílio do agitador mecânico por cinco minutos, foi utilizado as peneiras de 50mm; 38mm; 25mm; 19mm; 9,5mm e 4,80mm. Apenas na peneira de 4,80mm ficou retido 1,4g,

todos os outros 14,89g que ficaram retidos anteriormente na peneira de 2,00mm, acumularam-se no fundo do conjunto. Os outros 880g de solo que passaram na peneira de 2,00mm, como diz a norma ABNT NBR 7181, foram passados no conjunto de peneiras finas com gramaturas de 1,2mm; 0,60mm; 0,42mm; 0,25mm; 0,15mm e 0,075mm com o auxílio do agitador mecânico por cinco minutos.



Figura 8— Conjunto de peneiras (Fonte: Próprio autor).



Figura 9— Conjunto de peneiras com a amostra no agitador mecânico (Fonte: Próprio autor).

Tabela 2—Peneiramento fino da amostra de 880g.

	Peneiramento						
	areia					argila	
Peneira	1,2mm	0,60mm	0,42mm	0,25mm	0,15mm	0,075mm	Fundo
Solo	91,52g	188,26g	89,53g	87,05g	297,68g	76,22g	49,74g

Fonte: Próprio autor.

Com base nos resultados do teste de peneiramento de partículas finas, observou-se que a porcentagem de material que passou pela peneira de 0,075mm foi de 5,63%. No entanto, uma análise das proporções retidas nas peneiras revelou que aproximadamente 55% da amostra está contida na faixa granulométrica correspondente à categoria de areia, sendo adequado para o uso do tijolo solo-cimento.

Segundo a BT 111 – ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland os traços ideais para a produção do tijolo solo-cimento são 1:10, 1:12 e 1:14, ou seja, para cada porção de cimento deve-se acrescentar 10, 12 ou 14 porções de solo, dependendo do traço escolhido. Com o intuito de um trabalho mais sustentável e resistente foi utilizado o traço 1:10 e foi realizado a substituição do solo nas proporções 1:9:1, 1:7:3 e 1:4:6 (cimento: solo: cinza), ficando com o traço de acordo com a tabela a seguir.

TABELA 3—Proporções dos materiais utilizados.

Traço	Materiais		
	Cimento	Solo	Cinzas
1	1	9	1
2	1	7	3
3	1	4	6

Fonte: Próprio autor (2023)



Figura 10— Materiais que foram utilizados (Fonte: Próprio autor).

O processo de fabricação do tijolo solo-cimento segundo BT 111 – ABCP 2000 é simples, pois não necessita de mão de obra específica e pode ser fabricado dentro do próprio canteiro de obra. A mistura foi feita manualmente em laboratório, após a cinzas graúdas da caldeira biomassa serem passadas na peneira de 2mm, para retirar outros materiais misturados na amostra, com o auxílio de uma espátula, em dois recipientes separados, foram misturados todos os materiais secos (solo, cimento e a cinza) uma combinação de solo e cimento para cada tipo de cinza, como mostrada na tabela anterior. Após obter uma coloração uniforme, foi adicionado água gradativamente até obter-se a umidade ideal. A verificação dessa umidade ideal é feita com razoável precisão da seguinte forma prática: Toma-se um punhado da mistura e aperta-se energicamente entre os dedos e a palma da mão; ao se abrir a mão, o bolo deverá ter a marca deixada pelos dedos (Figura 3a). (BT 111 – ABCP).

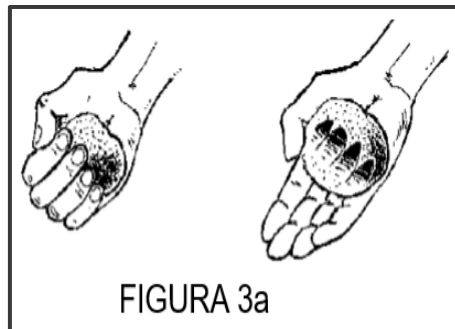


Figura 11— Umidade ideal livro Fonte: BT 111 - ABCP (2000).



Figura 12— Umidade ideal (Fonte: Próprio autor).

Foram realizadas no total sete tipos diferentes de mistura, sendo que a mistura n°1 foi a mistura tradicional, sem nenhuma adição das cinzas, para que exista uma comparação com as outras misturas que possuem a incorporação desses resíduos. Já as

misturas 2 e 3 contêm 10% de ambos os resíduos, as misturas 4 e 5 contêm 30%, e as últimas misturas n° 6 e 7 foram feitas com 60%. A tabela abaixo mostra as quantidades de cada material utilizado nas misturas. Foram moldados 3 corpos de prova para cada tipo de mistura, de acordo com a norma ABNT NBR 8491, 70% dos corpos são utilizados para a determinação da resistência a compressão e 30% para a determinação da absorção de água, totalizando assim a execução de 21 corpos de provas.

TABELA 4—Quantidade de material para cada massa com o traço original 1:10.

Traço	Quantidade de material para cada mistura					
	Mistura	Solo	Cimento	Cinzas Graúdas	Cinzas Finas	Água
Tradicional	8	1000g	100g	0g	0g	200ml
9 para 1 (10%)	9	900g	100g	100g	0g	200ml
9 para 1 (10%)	10	900g	100g	0g	100g	200ml
7 para 3 (30%)	11	1000g	130g	300g	0g	260ml
7 para 3 (30%)	12	1000g	130g	0g	300g	390ml
4 para 6 (60%)	13	400g	100g	600g	0g	200ml
4 para 6 (60%)	14	400g	100g	0g	600g	455ml

Fonte: Próprio autor (2023).



Figura 13— Mistura 1 pronta (Fonte: Próprio autor).



Figura 14— Materiais separados para fazer a mistura de cinzas finas (Fonte: Próprio autor).

Devido à inexistência de uma norma específica para a moldagem de corpo de prova da mistura destinada a tijolos ecológicos, foi conduzido um ensaio adaptado, no qual a mistura foi considerada similar a uma argamassa. Como manda a norma ABNT NBR 10833:2013, assim que as massas ficaram prontas, foram transferidas para os

moldes que já estavam preparados com uma camada fina de óleo mineral em todos os lados e prensadas manualmente com o auxílio de um socador.

Após a moldagem de todos os corpos-de-prova, os mesmos foram depositados em uma superfície plana, com sombra, e cobertos por panos úmidos para que mantivessem a umidade frequente durante os 7 primeiros dias, com o propósito de atingir a cura necessária. Depois dos 7 primeiros dias os corpos de prova foram descobertos e deixados em repouso por mais 7 dias para garantir a cura total e necessária, pois os blocos devem ser utilizados apenas após 14 dias desde a sua fabricação (ABNT NBR 10833:2012).

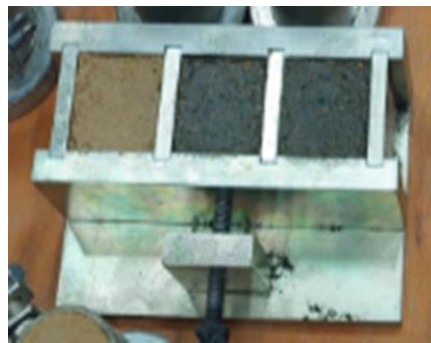


Figura 15— Misturas 2 e 3 no molde prismático (Fonte: Próprio autor).



Figura 16— Corpos de prova com 10% de cinzas (Fonte: Próprio autor).

Foram encontrados problemas na hora de desenformar a massa 7 (60% de cinzas da caldeira de biomassa finas), pois formou uma mistura frágil e não foi possível retirar nenhum dos 3 blocos por inteiro do molde, como uma tentativa de solucionar o problema, a massa 7 permaneceu os primeiros 7 dias de cura dentro do molde, mesmo assim não houve sucesso, portanto não foram realizados testes para determinar a resistência à compressão.



Figura 17— Desenhando mistura 7 (Fonte: Próprio autor).

Posteriormente, quando os blocos atingiram 14 dias, foram realizados os testes para a determinação da resistência à compressão utilizando o maquinário de ensaio eletrônico e a determinação da absorção de água, sendo 2 corpos de prova para resistência à compressão e 1 corpo de prova para a absorção de água, para cada combinação de massa realizada. Para o teste de absorção de água cada corpo de prova foi pesado em seu estado seco e em seguida submerso em água, depois retirado e pesado novamente (ABNT NBR 8491:2012).



Figura 18 – Teste de resistência à compressão (Fonte: Próprio autor).



Figura 19— Um bloco de mistura 4 e outro de mistura 5 submersos em 600ml de água (Fonte: Próprio autor).

Segundo a norma ABNT NBR 8492:2012, a amostra ensaiada deve apresentar a média dos valores de absorção de água igual ou menor que 20% e valores individuais

iguais ou menores que 22% com o mínimo de 7 dias de idade. O resultado em porcentagem é dado pela seguinte fórmula:

$$A = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100$$

Sendo:

M1 = massa do corpo de prova seco (g)

M2 = massa do corpo de prova saturado (g)

A = Absorção de água (%)

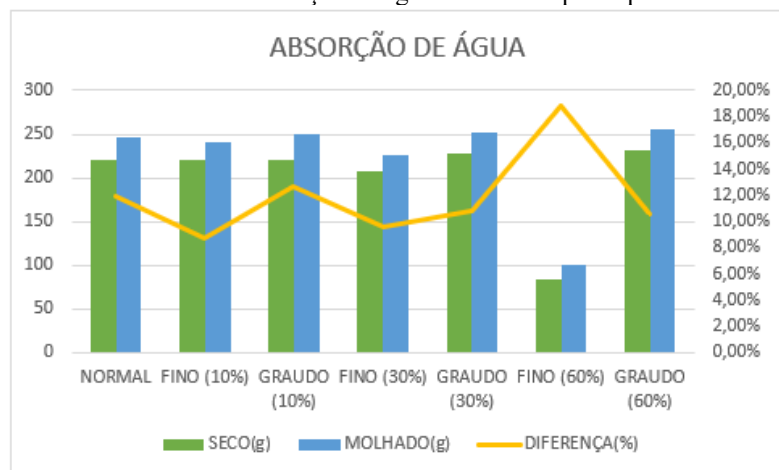
Após realizados os experimentos nos sete blocos de cada tipo de massa e calculado a porcentagem de absorção, obteve-se a tabela com os resultados a seguir:

TABELA 5— Dados do experimento referente a absorção de água.

Teste de absorção de água			
Traço	Seco(g)	Molhado(g)	Diferença(%)
Tradicional	220,02	246,18	11,89%
Fino (10%)	221,36	240,80	8,78%
Graúdo (10%)	221,13	249,20	12,69%
Fino (30%)	206,99	226,97	9,65%
Graúdo (30%)	228,11	252,76	10,81%
Fino (60%)	84,20	100,00	18,76%
Graúdo (60%)	231,77	256,32	10,59%

Fonte: Próprio autor (2023).

Gráfico 1— Absorção de água de cada corpo de prova



Fonte: Próprio autor (2023).

Segundo a norma ABNT NBR 8491 a amostra ensaiada não pode apresentar média dos valores de resistência à compressão menor que 2,0 Mpa (20 kgf/cm²), também não

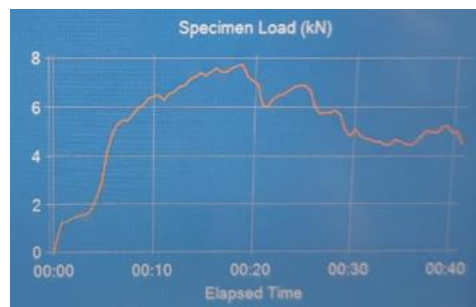
pode ter valor individual menor que 1,7 Mpa (17 kgf/cm²) e o corpo de prova deve ter idade mínima de sete dias. Para o ensaio de resistência à compressão, cada bloco foi pesado e medido antes de ser colocado na máquina de ensaios de compressão, com isso obtiveram-se os seguintes dados:

TABELA 6— Dados dos corpos de prova.

Traço	Dados dos corpos de prova			
	Largura	Comprimento	Altura	Massa
Normal - 1	44,50 mm	46,00 mm	43,50 mm	222,46g
Normal - 2	45,00 mm	45,00 mm	44,00 mm	224,65g
Graúdo (10%) - 1	46,00 mm	45,00 mm	45,00 mm	223,73g
Graúdo (10%) - 2	45,00 mm	45,00 mm	46,00 mm	222,38g
Fino (10%) - 1	45,00 mm	44,50 mm	46,00 mm	218,42g
Fino (10%) - 2	45,00 mm	45,00 mm	45,00 mm	208,89g
Graúdo (30%) - 1	48,00 mm	48,00 mm	48,00 mm	229,67g
Graúdo (30%) - 2	48,00 mm	48,00 mm	48,00 mm	228,38g
Fino (30%) - 1	49,00 mm	48,00 mm	50,00 mm	202,59g
Fino(30%) - 2	50,00 mm	50,00 mm	50,00 mm	214,24g
Graúdo (60%) - 1	48,00 mm	50,00 mm	49,00 mm	234,65g
Graúdo (60%) - 2	49,00 mm	49,00 mm	49,00 mm	234,20g

Fonte: Próprio autor (2023).

Após a coleta de dados, todos os blocos foram levados para a máquina de ensaio de compressão, onde foi gerado a foça (KN) e a tensão (Mpa) aplicadas em cada corpo. Todos os esforços e tensões foram reunidos na tabela abaixo e segue gráficos gerados pela máquina de ensaio de compressão:



Fonte: Próprio autor (2023).

Gráfico 2— Esforços do corpo de prova com 30%



Fonte: Próprio autor (2023).

Gráfico 3— Esforços do corpo de prova com 60%

TABELA 7— Ensaio de compressão

Ensaio de compressão				
Traço	Força (KN)	Tensão (Mpa)	Média (KN)	Média (MPa)
Normal - 1	7,55	3,69	7,550	3,705
Normal - 2	7,55	3,72		
Graúdo (10%) - 1	5,58	2,83	5,690	2,850
Graúdo (10%) - 2	5,80	2,87		
Fino (10%) - 1	9,85	4,92	8,650	4,300
Fino (10%) - 2	7,45	3,68		
Graúdo (30%) - 1	7,50	3,26	7,425	3,225
Graúdo (30%) - 2	7,35	3,19		
Fino (30%) - 1	7,75	3,30	7,625	3,145
Fino(30%) - 2	7,50	2,99		
Graúdo (60%) - 1	6,70	2,80	7,000	2,920
Graúdo (60%) - 2	7,30	3,04		

Fonte: Próprio autor (2023).



Figura 20— Um corpo de prova rompido de traço padrão (Fonte: Próprio autor).

Um dos intuitos do trabalho é reduzir os custos na produção do tijolo-solo cimento e a reutilização das cinzas da caldeira biomassa para diminuir os impactos na sociedade. Foi realizado uma análise comparando os preços gastos para a produção do tijolo solo-cimento convencional e o tijolo solo-cimento com a utilização das cinzas da caldeira biomassa. O valor do quilo de cimento foi calculado com base no saco de 50 kg que custou aproximadamente R\$30,00. O valor das cinzas foi disponibilizado pela empresa que doou o material para o projeto, a mesma atualmente arca com o custo de R\$350,00 (150,00/ton o descarte e 200,00/ton o transporte) para a retirada e o descarte de uma tonelada, por tanto as cinzas foram consideradas como doação, pois o valor do transporte pode variar de cidade para cidade. Já que o solo para o ensaio foi proveniente de doação, o seu valor foi calculado com base no orçamento para aterramento na região de Campinas, considerando assim uma média de 195,00 R\$/m³.

TABELA 8— Preço dos materiais

Custos para produção do tijolo solo-cimento								
	Quantidade de material (g)				Valor do material (R\$)			
	Normal	10%	30%	60%	Normal	10%	30%	60%
Cinzas	0	350	1050	2100	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Solo	3500	3150	2450	1400	R\$ 0,08	R\$ 0,07	R\$ 0,06	R\$ 0,03
Cimento	350	350	350	350	R\$ 0,21	R\$ 0,21	R\$ 0,21	R\$ 0,21
Valor total do tijolo					R\$ 0,29	R\$ 0,28	R\$ 0,27	R\$ 0,24

Fonte: Próprio autor (2023).

Conclusão

Comparando-se as tensões obtidas nos ensaios das amostras com traço padrão e as amostras com adição de cinzas, aquelas que apresentaram 10% de adição fina obtiveram resultados satisfatórios com relação à resistência mínima, atingindo uma média de 4,30 Mpa. Todos os blocos que foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão atingiram o mínimo de Mpa definido pela norma ABNT NBR 8491. As cinzas graúdas podem substituir o solo em até 60%, já as cinzas finas, devido à fragilidade da massa ao serem desmoldadas, recomenda-se a substituição de até 30%.

Pode-se concluir que, desconsiderando o custo de transporte, a utilização das cinzas da caldeira biomassa apresenta-se como uma solução viável para a substituição de parte do solo, tanto tecnicamente quanto financeiramente, atendendo aos requisitos de fabricação do tijolo solo-cimento, bem como reduzindo os custos de produção desse material, além de contribuir com a sociedade através da reutilização das cinzas ao serem inseridas no tijolo solo-cimento, para que não haja a poluição dos solos e rios ao fazer o descarte incorreto desse resíduo.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Tipos de Cimento Portland**. 2023. São Paulo. Disponível em: <<https://abcp.org.br/cimento/aplicacoes-do-cimento/>>. Acesso em: 21 de outubro de 2023.

ABNT NBR 7181/1984. **Análise granulométrica**. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/produto/normas-brasileiras-e-mercosul/pesquisar/abnt-nbr-7181>> Acesso em: 02 de setembro de 2023.

ABNT NBR 8491/2012. **Tijolo de solo-cimento – requisitos** <<https://www.normas.com.br/produto/normas-brasileiras-e-mercosul/pesquisar/abnt-nbr-8491>> Acesso em: 26 de outubro de 2023.

ABNT NBR 8492/2012. **Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação a resistência à compressão e da absorção de água**. <<https://www.normas.com.br/produto/normas-brasileiras-e-mercosul/pesquisar/abnt-nbr-8492>> Acesso em: 20 de outubro de 2023.

AMANDA, *et al*, **ANÁLISE GRANULOMÉTRICA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**<https://www.mastereditora.com.br/periodico/20210311_094515.pdf> Acesso em: 26 de outubro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Tipos de Cimento Portland**. 2023. São Paulo. Disponível em: <<https://abcp.org.br/cimento/aplicacoes-do-cimento/>>. Acesso em: 21 de outubro de 2023.

BACKES, Henrique Signor. et al. **Valorização de cinzas de fundo de caldeira através da produção de alcalinizante: uma proposta de economia circular**. Pesquisa, sociedade e desenvolvimento. 2022. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/31312>>. Acesso em: 07 de outubro de 2023.

BT 111 - ABCP, **Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Pressas Manuais**. Disponível em: <<file:///E:/TCC/REFERENCIAS/ABCP%20-%20construção%20de%20tijolo%20solo%20cimento.pdf>> Acesso em: 6 out. 2023.

COSTA, T. P.; et al. **Environmental assessment of valorisation alternatives for woody biomass ash in construction materials**. Resources, Conservation and Recycling, v. 148, p. 67-79, 2019.

GASPAR, Marília. **Conheça tudo sobre o Tijolo Ecológico e seu uso nas obras: como surgiu o tijolo ecológico.** Sienge. 2020. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/tijolo-ecologico/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2023.

GONÇALVES, Giovanna. **Efeitos da adição de resíduo de cinza de caldeira em misturas de solo e cimento na absorção de água e na resistência à compressão simples.** 2021. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** 2003, 165 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

LORENSETTI, Rodrigo. **Caldeira Biomassa: você sabe como ela funciona?** Coontrol. 2019. Disponível em: <<https://blog.coontrol.com.br/caldeira-a-biomassa-voce-sabe-como-ela-funciona/>>. Acesso em: 07 de outubro de 2023.

MILOVANOVIĆ, B.; et al. **Wood biomass ash as a raw material in concrete industry.** Građevinar, v. 71, n. 06, p. 505-514, 2019.

MOTTA, JESSICA CAMPOS SOARES SILVA. et al. **Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis.** 2014. 26 f. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Civil, Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/1038/665>>. Acesso em: 03 de setembro de 2023.

NUNES, Bianca Mariano Pedro; et al. **Tijolo solo-cimento utilizando RCD.** 2019. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Centro Universitário Fundação Santo André, Santo André, 2019.

NUNES, Cristiane. **Indianos criam tijolo ecológico, o Eco Blac.** Sustentarqui.2015. Disponível em:< <https://sustentarqui.com.br/indianos-criam-tijolo-ecologico-o-eco-blac/>>. Acesso em: 09 de outubro de 2023.

PEREIRA, Caio. Tijolo ecológico: o que é, tipos, vantagens e desvantagens. **Escola Engenharia**. Disponível em: < <https://www.escolaengenharia.com.br/tijolo-ecologico/>>. Acesso em: 03 de setembro de 2023.

REINERT, J.; et al. **Nota de aula – Práticas de Laboratório- Mecânica dos solos e fundações**. CEFET-MG, p. 5, 2016. Disponível em:< https://www.curvelo.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/13/2018/01/Apostila-Lab-Mec-Solos-Tecnico_Rev-2.pdf>. Acessado em 20 out. 2023

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: 20 out. 2023

SEGANTINI, A. A. S; ALCÂNTARA M. A. M. **Solo-cimento e Solo – Cal**. In: **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010, 2ª. Ed. v.2. Cap.27.p.864 – 891.

SILVA, F. C.; et al. **Use of biomass ash-based materials as soil fertilisers: Critical review of the existing regulatory framework**. Journal of Cleaner Production, v. 214, p. 112-124, 2019.