

## **Análise da viabilidade da incorporação de resíduos da construção civil na fabricação de tijolos de solo-cimento**

**Gabriel Pereira Gonçalves**

*Professor Mestre do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Redentor*

**Dailio dos Santos Araújo**

*Graduado do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Redentor*

**Luan Rocha de Oliveira**

*Graduado do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Redentor*

**Maria Leticia G. Jardim de Oliveira**

*Graduado do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Redentor*

**Muriel Batista de Oliveira**

*Doutora em Engenharia Civil da Faculdade de Ciências Contábeis de Nova Andradina*

**Pietro Valdo Rostagno**

*Professor especialista do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Redentor*

**Cristiano Pena Miller**

*Professor mestre do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Redentor*

**Fernanda Rangel de Azevedo de Paula**

*Mestre e Pró-Reitora de Pesquisa e Extensão do Centro Universitário Redentor*

DOI: 10.47573/aya.5379.2.61.5

## RESUMO

De forma geral, a construção civil colabora com o bem-estar, conforto e qualidade de vida da população, em contrapartida, é um ramo industrial que acaba favorecendo a degradação ambiental, que por conta disso, torna-se cada vez mais necessário o empenho para se buscar novas tecnologias que diminuam e preservem o habitat natural do planeta. Com base nessa temática ambiental, o presente trabalho tem como objetivo analisar o uso do resíduo da construção civil, proveniente da demolição de alvenarias de uma obra do município de Muriaé, na confecção de tijolos de solo cimento, verificando a viabilidade da substituição de parte do solo pelo entulho, com base em ensaios laboratoriais obedecendo as normas da ABNT vigentes. A metodologia consistiu em realizar ensaios de caracterização física dos materiais constituintes (solo e resíduo), fabricação dos blocos de encaixe de solo-cimento e a realização de ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água. Foram estudados traços com 10% de cimento e 0%, 20%, 40% e 60% de resíduo em substituição à massa de solo. Os resultados obtidos nos ensaios demonstraram que a incorporação dos resíduos melhorou as propriedades mecânicas dos tijolos.

**Palavras-chave:** tijolos solo-cimento. resíduos de construção. propriedades mecânicas.

## INTRODUÇÃO

O setor da construção civil tem apresentado grande destaque nos últimos anos devido ao intenso processo de ocupação dos centros urbanos, sendo esta uma atividade muito importante para o desenvolvimento econômico brasileiro. Diante do crescimento populacional, surge a necessidade de implantação de novas infraestruturas e moradias para atender à crescente demanda (PINTO; MELO; NOTARO, 2016).

Contudo, em virtude das particularidades das suas atividades, a Indústria da Construção Civil, revela-se como uma grande consumidora de matérias-primas e geradora de resíduos. Dados da ABRELPE (2017) revelam que no ano de 2017 o setor da construção civil gerou no Brasil cerca de 45 milhões de toneladas de resíduos, um índice de 0,594 Kg/hab./dia. Os resíduos oriundos das construções são muito variáveis, entre eles pode-se citar: argamassa, tijolos, concreto, telhas, pisos, entre outros.

Neste tipo de atividade econômica, as fontes geradoras de resíduos são permanentes, tendo em vista que as obras sempre existirão, seja reformas, demolições ou novas construções (MENEZES; PONTES; AFONSO, 2011). Em muitos casos, a falta de um bom gerenciamento dos resíduos que sobram da obra acaba por contribuir para uma destinação final incorreta desses entulhos, geralmente depositados em terrenos baldios. Assim, o setor da construção civil tem o desafio de conciliar uma atividade produtiva dentro dos canteiros de obra com o desenvolvimento sustentável de modo amenizar a agressão ao meio ambiente (PINTO, 2005).

A partir disto, questiona-se uma possível forma de aproveitar estes resíduos com a finalidade de reduzir o consumo de matéria-prima bem como atenuar o impacto ao ambiente. Dessa forma, o reaproveitamento de entulhos, que sobram das obras e que a princípio seriam descartados, poderiam ser utilizados como agregado para a confecção de tijolos prensados do tipo solo-cimento.

Este trabalho tem como objetivo geral confeccionar tijolos prensados do tipo solo-cimento, substituindo parte do solo em diferentes proporções por resíduos sólidos oriundo de obras de construção civil, verificando a viabilidade técnica da sua utilização. Os objetivos específicos são: caracterizar o solo e o resíduo utilizados na confecção dos tijolos; determinar a resistência a compressão simples e a capacidade de absorção de água dos tijolos produzidos; e analisar os resultados obtidos, a fim de determinar uma relação entre a quantidade de cada material da composição dos tijolos e suas respectivas propriedades.

Este estudo justifica-se pela relevância de se fazer o reaproveitamento dos resíduos provenientes da construção civil e que muitas vezes são descartados sem planejamento no meio ambiente, significando desperdícios de recursos naturais. Busca-se assim propor o reaproveitamento destes resíduos que são gerados através da execução de obras, de forma que estes voltem para o próprio mercado do setor de construção, como agregados no tijolo de solo-cimento. Além de ser uma alternativa ambientalmente correta, a incorporação destes resíduos na produção deste tipo de tijolo poderia trazer vantagens técnicas.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### Tijolo de solo-cimento

Para a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2004) o solo-cimento é um material que passa por um processo de endurecimento de uma mistura compactada de solo, cimento e água. A proporção deve ser determinada mediante uma dosagem racional, observando as normas aplicáveis ao solo. Portanto, os tijolos do tipo solo-cimento, também chamados de tijolos ecológicos, são produtos fabricados pela mistura desses componentes, sendo um produto interessante do ponto de vista ambiental para a construção civil.

De acordo com Milani e Freire (2006) o processo de estabilização do solo com o cimento ocorre através das reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento, em seguida forma-se um gel que preenche parte dos vazios existente na massa e une as partículas do solo conferindo a propriedade de resistência.

Dos componentes utilizados, o solo é o que possui a maior proporção na mistura. Praticamente, qualquer tipo de solo pode ser utilizado, porém os melhores são os arenosos, uma vez que requerem menor quantidade de cimento para se estabilizar, contudo, a presença de argila é indispensável para dar coesão na mistura (ABCP, 2000). Os solos com presença de matéria orgânica devem ser evitados, pois podem dificultar a estabilização do solo.

Segundo a NBR 10833 (2012), em geral os solos mais adequados para confecção de tijolos do tipo solo-cimento devem possuir as seguintes características:

- 100% passando na peneira com abertura de 4,75 mm (nº 4);
- 10% a 50% passando na peneira com abertura de 75 µm (nº 200);
- Limite de liquidez menor ou igual a 45%; e
- Índice de plasticidade menor ou igual a 18%.

A escolha da dosagem dos componentes é uma etapa muito importante. A ABCP (2000)4

sugere que:

a dosagem que pode ser adotada inicialmente para a fabricação dos tijolos com uma grande quantidade de solo e pequena quantidade de cimento, podendo variar de 1:10 a 1:14 (cimento: solo) em volume, onde o melhor traço deve ser escolhido. A parcela de cimento deve ser a mínima possível capaz de assegurar que o solo se estabilize, de forma que se tenha um produto de qualidade e com baixo custo.

Os tijolos de solo-cimento possuem diversas vantagens em relação aos tijolos convencionais, entre as quais cabe destacar: a eliminação do custo de transporte, tendo em vista que pode ser produzido com o solo do local de aplicação; os equipamentos são simples e de baixo custo; dispensa a queima; suas faces são bem regulares diminuindo a espessura de argamassa para assentamento e revestimento; não precisa de mão-de-obra especializada; e possui resistência à compressão similar à do tijolo cerâmico (ABCP, 2000). Além disso, existe a possibilidade de incorporar outros materiais na sua composição, principalmente os materiais de descarte.

## Resíduos de construção civil

No ambiente urbano são gerados diversos tipos de resíduos, entre eles estão os chamados resíduos da construção civil. Estes, também chamados de entulhos de obras, são aqueles gerados pelas atividades de construções, reformas, reparos, demolições, preparação e escavação de terrenos (CONAMA, 2002).

Os entulhos provenientes da construção civil representam uma grande parcela de todos os resíduos sólidos urbanos. Em uma cidade cerca de dois terços destes resíduos são gerados pelos domicílios enquanto um terço vem da construção civil e em alguns municípios este percentual chega a 50% (LIMA, 2000). Independentemente da cidade ou região de que procede, a sua composição em geral tem elevados percentuais de concreto, material cerâmico e argamassa (VIEIRA & MOLIN, 2004).

De acordo com a resolução do CONAMA nº. 307 (2002) os resíduos da construção são classificados em quatro categorias, sendo de A à D, as quais também define qual deve ser a forma de destinação final adequada destes resíduos. Conforme essa divisão o foco deste trabalho será os resíduos da classe A. Estes são os que podem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, tais como solos de terraplanagem, tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa, concreto, peças pré-moldadas em concreto, entre outros.

Os resíduos provenientes das obras em diferentes amostras apresentam uma grande variabilidade e heterogeneidade de componentes. Por isso, a utilização de agregados reciclados até esse momento é muito pequena, a natureza variável dos materiais dificulta o seu aproveitamento como matéria-prima para fabricar novos produtos (VIEIRA & MOLIN, 2004).

Entretanto, a reciclagem dos entulhos é uma alternativa de tratamento que melhor poder ser empregada como destinação ecologicamente correta dos resíduos de construção civil. Este método envolve atividades que compreende em realizar uma seleção preliminar, seguida da limpeza, depois faz-se a moagem e classificação granulométrica dos materiais moídos, para, por fim, serem utilizados em aplicações específicas (LIMA, 2000). A partir disso, os finos gerados após o processo de moagem e peneiramento, por exemplo, podem ser usados como agregado para substituir o solo na fabricação de tijolo de solo-cimento.

## METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consistiu em realizar ensaios de caracterização dos materiais, confecção de tijolos do tipo solo-cimento e realização de ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água. Estes ensaios e a produção dos tijolos foram realizados no Laboratório de Construção Civil do Centro Universitário Redentor de Itaperuna/RJ.

### Materiais e equipamentos

Para a realização deste trabalho, foram empregados os seguintes materiais:

- Solo: o solo utilizado foi coletado de um talude no município de Laje do Muriaé/RJ (Figura 1), tendo sido retirado abaixo da camada que contenha matéria orgânica e em quantidade que seja suficiente para a realização dos ensaios de caracterização e moldagem dos tijolos.

Figura 1- Local de retirada do solo.



Fonte: Os autores, 2019.

- Cimento: utilizou-se o Cimento Portland CP II-E 32 da marca Holcim.
- Água: foi utilizado a água da rede de abastecimento do Centro Universitário Redentor de Itaperuna/RJ, distribuída pela CEDAE (Companhia Estadual de Água e Esgoto).
- Resíduo da Construção Civil: o resíduo utilizado foi coletado em uma obra na cidade de Muriaé/MG, sendo constituído por restos de argamassa e tijolo cerâmico, após coletado este material foi triturado manualmente com uma marreta e peneirado para ficar com um diâmetro máximo de 4,8 mm.
- Equipamentos de Laboratório: jogo de peneiras ABNT, balança analítica, recipientes, almofariz, agitador mecânico de peneiras, recipientes de porcelana, espátulas, garrafa plástica com água destilada, aparelho de Casagrande, Cinzel, placa de vidro esmaltada, régua, cápsulas metálicas, estufa, marreta, Prensa Manual de tijolo solo-cimento, colher de pedreiro, masseira plástica, balde, lona plástica, Equipamento de Ensaio de Compressão, entre outros.

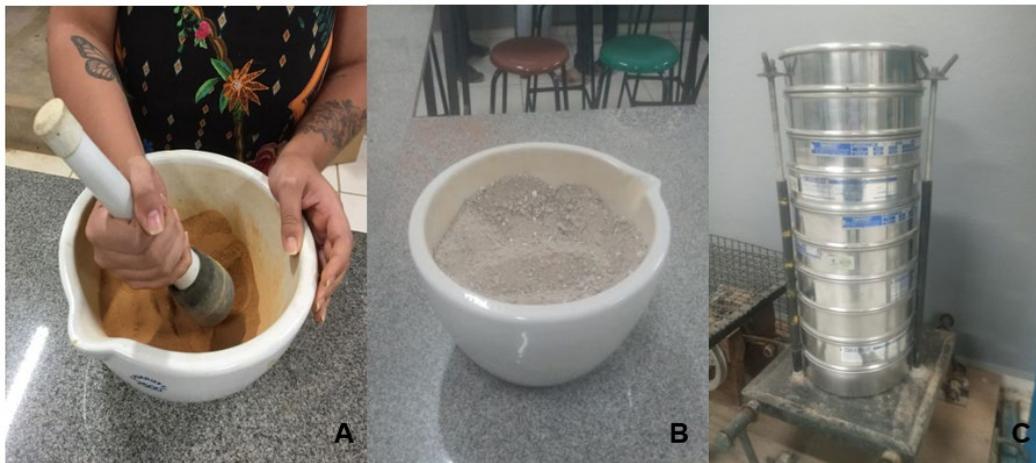
## Métodos

### Caracterização do solo e do resíduo

As amostras de solo foram destorroadas com o uso do almofariz para a realização dos ensaios. Para o solo realizou-se ensaios de análise granulométrica (NBR 7181, 2016), determinação dos limites de liquidez (NBR 6459, 2016) e limite de plasticidade (NBR 7180, 2016). Enquanto que para o resíduo realizou-se apenas a análise granulométrica. Todas as amostras foram preparadas de acordo com as prescrições da norma NBR 6457 (2016).

O procedimento para o teste de granulometria foi realizado pela técnica de peneiramento seguindo as instruções da NBR 7181 (2016). Na figura 2 é apresentada a ilustração dos procedimentos do ensaio de granulometria do solo e do resíduo.

**Figura 2- Ensaio de Granulometria. A - Solo sendo destorroado; B - Resíduo triturado; C – Peneiramento das amostras.**

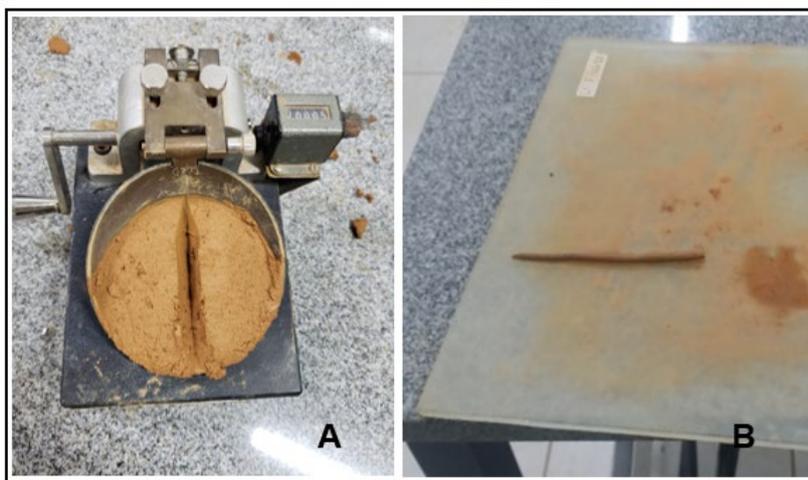


Fonte: Os autores, 2019.

O ensaio para se determinar o limite de liquidez, ilustrado na figura 3A, é determinado pelo aparelho de Casagrande sendo realizado por três vezes. O resultado obtido foi dado pela reta de um gráfico, com os teores de umidade no eixo das ordenadas e com o número de golpes no eixo das abscissas, onde o teor de umidade do solo corresponde a 25 golpes.

Está ilustrado na figura 3B uma das etapas do ensaio para se obter o limite de plasticidade. Assim como no ensaio do limite de liquidez, seu procedimento foi realizado três vezes, sendo o resultado a média entre os valores obtidos.

Figura 3 - Ensaio- limite de liquidez (A) e limite de plasticidade (B).



Fonte: Os Autores, 2019.

O índice de plasticidade (IP) do solo corresponde à diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP). O seu valor é determinado pela equação 1.

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

### Confeção dos tijolos

Os tijolos foram moldados conforme os procedimentos contidos na norma NBR 10833 (2012) e no Boletim de Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a utilização de Prensas Manuais da ABCP (2000).

Na dosagem, utilizou-se uma mistura básica de solo-cimento tendo como referência a ABCP (2000), sendo uma parte de cimento para cada dez de solo (1:10). Nesta proporção foram adicionadas diferentes medidas de resíduos em substituição da massa de solo. Os tijolos do traço T1 foram confeccionados sem adição de resíduo com o objetivo de fazer uma análise comparativa em relação aos demais. Nos tijolos do traço T2, T3 e T4 adicionou-se respectivamente 20%, 40% e 60% de resíduo em substituição da massa de solo. De cada mistura moldaram-se oito exemplares. Na tabela 1 está descrito detalhadamente os traços e consumo dos materiais que foram utilizados.

Tabela 1- Traços e consumo dos materiais para confecção dos tijolos.

Traço (Cimento, solo e resíduo)		Cimento	Solo	Resíduo
T1	1:10	1,6 kg	16,0 kg	0
T2	1:8:2	1,6 kg	12,8 kg	3,2 kg
T3	1:6:4	1,6 kg	9,6 kg	6,4 kg
T4	1:4:6	1,6 kg	6,4 kg	9,6 kg

Fonte: Os autores, 2019.

O primeiro passo consistiu em preparar os materiais. O resíduo e o solo passaram pelo peneiramento na malha de 4,75 mm, com a finalidade de eliminar parte dos torrões e proporcionar uma melhor compactação.

Em seguida, colocou-se os materiais na masseira plástica e foi efetuada a mistura manu-

al dos constituintes de acordo com os traços preestabelecidos. A imagem da figura 4A apresenta os materiais selecionados já misturados e prontos para serem moldados na prensa.

**Figura 4- Fabricação - Homogeneização (A); Moldagem (B); Cura (C).**



Fonte: Os Autores, 2019.

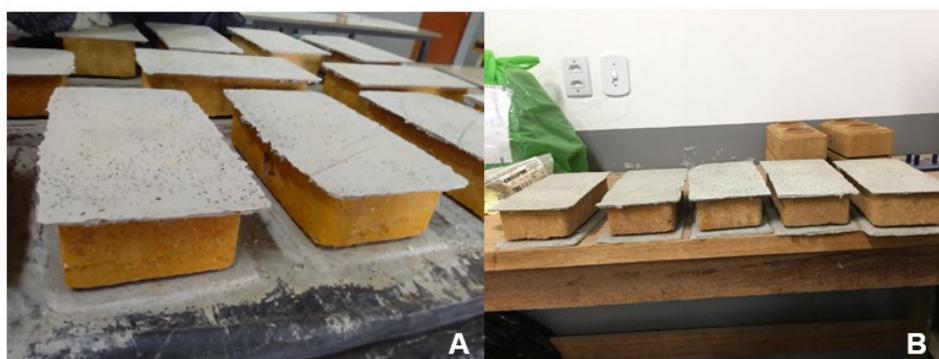
Na confecção dos blocos, o molde da prensa utilizada produz tijolos vazados com as dimensões de 25 cm x 12,5 cm x 6,25 cm e com 2 furos de 6,5 cm de diâmetro (figura 4B). Os tijolos foram retirados dos moldes com cuidado para evitar possíveis quebras, sendo identificados e transportados para a área de cura, permanecendo armazenados por um tempo de 28 dias (figura 4C).

### Ensaio de resistência à compressão e absorção de água

O ensaio de resistência à compressão foi executado seguindo as recomendações da NBR 10836 (1994).

Todos os corpos de prova (CPs) foram regularizados por meio de capeamento com argamassa, dosagem de 1:2 (cimento: areia), em uma espessura de aproximadamente 3mm, conforme ilustração da figura 5.

**Figura 5 - Capeamento de alguns tijolos. A – Tijolos sendo capeados; B – Tijolos capeados.**



Fonte: Os autores, 2019.

O ensaio de compressão simples foi executado com uma velocidade de 6 mm/min, sendo utilizado uma máquina da marca SOLOTEST, conforme imagem da figura 6.

Figura 6 - Ensaio de Compressão. A – Tijolo na prensa; B – Tijolo fraturado.



Fonte: Os autores, 2019.

Para o ensaio de capacidade de absorção de água foram utilizados três tijolos de cada traço e foi executado conforme as orientações da NBR 10836 (1994). A figura 7 apresenta a ilustração do ensaio de capacidade de absorção de água.

Figura 7- Ensaio de absorção de água. A – Tijolos na estufa; B – Tijolos imersos em água.



Fonte: Os autores, 2019.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização do solo e do resíduo

Na tabela 2 são apresentados os valores obtidos no ensaio de granulometria das amostras do solo.

**Tabela 2 - Composição granulométrica do solo.**

Peneiras		Peso (g)			
Malha	Abertura (mm)	Amostra A	Amostra B	Amostra C	Média
Nº 4	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00
Nº 8	2,4	1,30	0,00	1,50	0,93
Nº 10	2,0	1,80	0,00	2,00	1,27
Nº 16	1,2	11,50	4,00	10,90	8,80
Nº 30	0,60	77,90	48,70	63,00	63,20
Nº 40	0,42	57,00	57,90	84,20	66,37
Nº 50	0,30	64,30	67,50	56,60	62,80
Nº 100	0,15	139,10	164,80	135,00	146,30
Nº 200	0,074	102,25	105,10	89,10	98,82
FUNDO	-	44,85	52,00	57,70	51,52
TOTAL	-	500,00	500,00	500,00	500,00

Fonte: Os autores, 2019.

Observa-se pelo resultado da tabela 2 que a distribuição granulométrica do solo, ficou bem próxima ao que se considera ideal para a confecção de tijolos do tipo solo-cimento. Tem-se a seguinte porcentagem em peso das diferentes frações das partículas: 0,00% de pedregulho (> 4,8 mm); 0,44% de areia grossa (4,8 – 2,0 mm); 27,67% de areia média (2,0 – 0,42 mm); 61,58% de areia fina (0,42 – 0,074 mm); e 10,30% de silte e argila (< 0,074 mm). Assim, este solo pode ser classificado como arenoso fino, com 89,70% de areia e 10,30% de silte e argila. Esses valores se enquadram dentro da exigência da NBR 10833 (2012), a qual determina que o material passante na peneira de malha nº 200 deve estar entre 10 e 50%, não sendo necessário fazer correção com a utilização de outros materiais.

Na tabela 3 são apresentados os valores obtidos no ensaio de granulometria das amostras do resíduo.

**Tabela 3 - Composição granulométrica do resíduo.**

Peneiras		Peso (g)			
Malha	Abertura (mm)	Amostra A	Amostra B	Amostra C	Média
Nº 4	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00
Nº 8	2,4	62,70	60,00	55,70	59,47
Nº 10	2,0	23,90	17,80	19,70	20,47
Nº 16	1,2	50,20	37,50	43,30	43,67
Nº 30	0,60	137,40	128,90	140,60	135,63
Nº 40	0,42	81,40	90,70	87,10	86,40
Nº 50	0,30	54,70	68,70	64,40	62,60
Nº 100	0,15	47,20	51,40	47,50	48,70
Nº 200	0,074	21,50	24,60	21,40	22,50
FUNDO	-	21,00	20,40	20,30	20,57
TOTAL	-	500,00	500,00	500,00	500,00

Fonte: Os autores, 2019.

Pelo resultado da tabela 3 tem-se a seguinte porcentagem em peso das diferentes frações das partículas do resíduo: 0,0% de pedregulho (> 4,8 mm); 15,99% de areia grossa (4,8

– 2,0 mm); 53,14% de areia média (2,0 – 0,42 mm); 26,76% de areia fina (0,42 – 0,074 mm); e 4,11% de silte e argila (< 0,074 mm). Assim, as partículas do resíduo podem ser classificadas como arenosa.

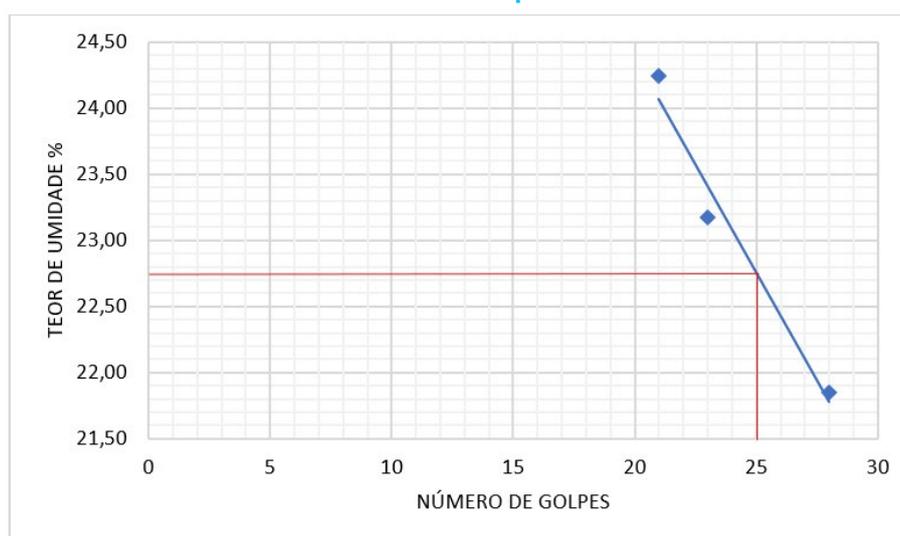
Na tabela 4 são apresentados os valores obtidos no ensaio de limite de liquidez do solo, e, no gráfico 5, o teor de umidade da amostra correspondente a 25 golpes. O resultado do teor de umidade (22,76%) se enquadra dentro da exigência da NBR 10833 (2012), a qual determina que o material tenha um limite de liquidez menor ou igual a 45%.

**Tabela 4 - Resultado do ensaio de Limite de Liquidez do solo.**

<b>Amostra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Nº de golpes	28	23	21
Tara da cápsula (g)	8,80	7,50	8,20
Peso cápsula + solo úmido (g)	23,80	23,30	29,70
Peso cápsula + solo seco (g)	18,60	17,90	22,50
Teor de umidade (%)	21,85	23,18	24,24
Teor de umidade correspondente a 25 golpes (%) = 22,76			

Fonte: Os autores, 2019.

**Gráfico 1- Limite de Liquidez do solo.**



Fonte: Os autores, 2019.

Na tabela 5 é apresentado os valores obtidos no ensaio de limite de plasticidade do solo. O limite de plasticidade da amostra do ensaio corresponde ao teor de umidade de 10,92%, obtido pela média dos três ensaios.

**Tabela 5 - Resultado do ensaio de limite de plasticidade.**

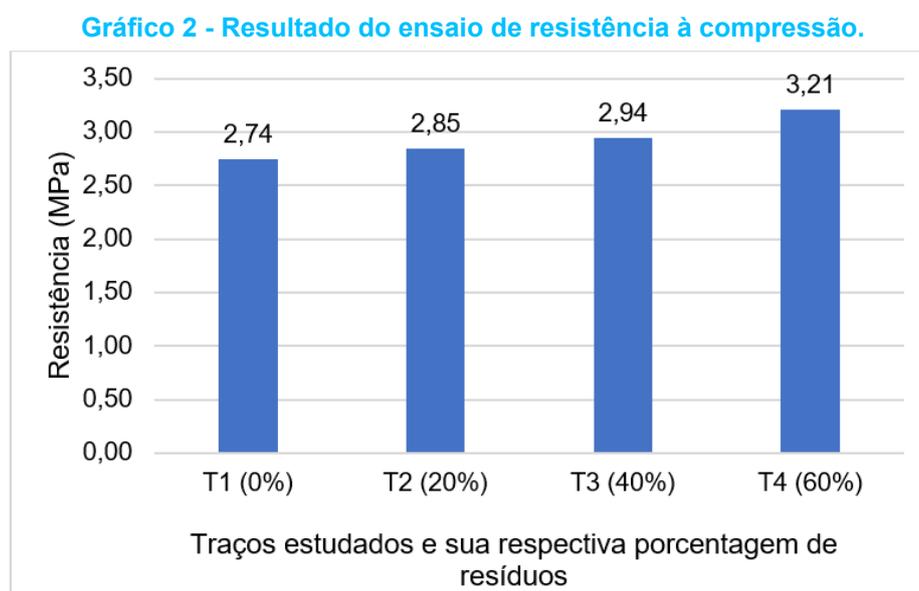
<b>Amostra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Tara da cápsula (g)	8,40	6,60	9,00
Peso cápsula + solo úmido (g)	11,20	10,50	12,10
Peso cápsula + solo seco (g)	10,20	9,30	10,60
Teor de umidade (%)	8,93	11,43	12,40
Limite de Plasticidade Médio (%) = 10,92			

Fonte: Os autores, 2019.

Determinando o índice de plasticidade, valor de 11,84%, verificou-se que esta porcentagem se enquadra dentro da exigência da NBR 10833 (2012), a qual determina que o material tenha um índice de plasticidade menor ou igual a 18%.

## Ensaio de resistência à compressão

A resistência à compressão simples é a propriedade mais importante de um tijolo de vedação. Os resultados do ensaio de compressão, aos 28 dias, dos tijolos confeccionados com diferentes misturas de solo-cimento-resíduo estão apresentados no gráfico 2.



Fonte: Os autores, 2019.

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão dos tijolos se mostraram satisfatórios, uma vez que todos os tijolos atingiram um valor de resistência à compressão superior ao que determina a norma NBR 10834 (1994), considerando-se que a média dos valores de resistência à compressão deve ser no mínimo 2,0 MPa e nenhum valor individual pode ser menor que 1,7 MPa. O traço T1 (referência), sem adição de resíduo, foi o que obteve o menor resultado, com um valor médio de resistência à compressão de 2,74 MPa.

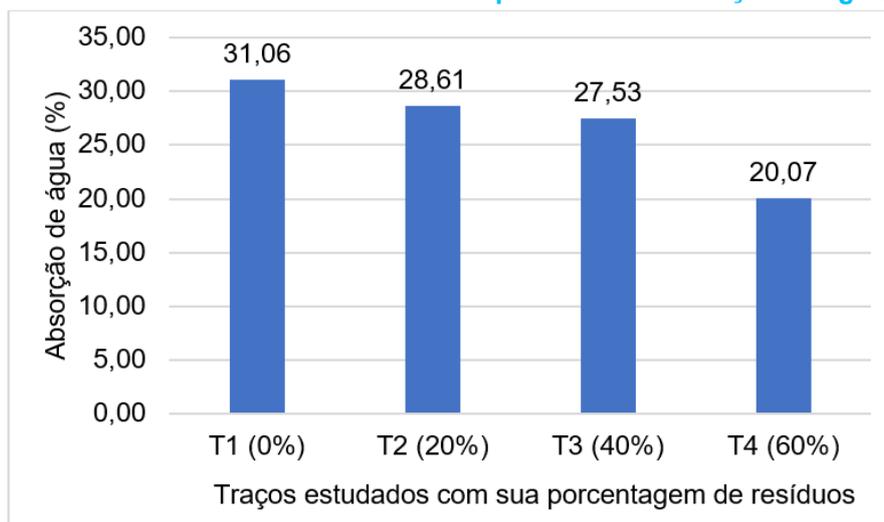
Dentre todos os traços em estudo o T4 foi o que obteve o melhor desempenho no ensaio de compressão, tendo um valor médio de 3,21 MPa. Em comparação com o traço de referência, os traços T2 (20% de resíduo), T3 (40% de resíduo) e T4 (60% de resíduo) apresentaram um ganho de resistência respectivamente de 4,01%, 7,30% e 17,15%.

Observa-se que a adição dos resíduos selecionados de obra promoveu elevação nos valores de resistência à compressão simples, porém, não foram moldados CPs com porcentagens de resíduo superior a 60%, devendo existir um valor ótimo de substituição, este não encontrado, pois requer a realização de mais ensaios com adições de resíduos superiores aos 60% pesquisados neste trabalho.

## Ensaio de absorção de água

Os resultados do ensaio de absorção de água, aos 28 dias, dos tijolos confeccionados com diferentes misturas de solo-cimento-resíduo estão apresentados no gráfico 3.

Gráfico 3 - Resultado do ensaio de capacidade de absorção de água.



Fonte: Os autores, 2019.

Analisando os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água, nenhum dos traços atenderam as determinações da norma NBR 10834 (1994). Somente os tijolos do traço T4 obtiveram valores individuais satisfatórios. Conforme a norma, as amostras ensaiadas no teste de absorção de água não podem apresentar a média dos valores maior que 20% nem valores individuais superiores a 22%.

Em comparação com o traço de referência, o traço T2, T3 e T4 tiveram uma redução no valor de absorção de água respectivamente de 7,89%, 11,36% e 35,38%. No gráfico 3 pode ser observada a evolução da capacidade de absorção de água média dos tijolos com as diferentes dosagens.

Embora os resultados dos traços T1, T2 e T3 não satisfizeram plenamente as exigências da norma, nota-se que a inclusão do resíduo contribuiu de forma satisfatória na resistência mecânica e na diminuição da absorção de água, e que esta propriedade, inclusive, pode ser corrigida alterando o traço na fabricação dos tijolos chegando a um teor de absorção de água menor.

Além da alteração do teor de água da mistura, outros traços podem ser executados para abranger um estudo mais detalhado sobre o tema, incluindo a substituição do resíduo no teor do cimento, haja vista que o processo de fabricação do cimento consome uma grande quantidade de recursos naturais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que a incorporação dos resíduos de construção civil (resto de argamassa e tijolo cerâmico) na confecção de tijolos de solo-cimento é viável tecnicamente. Os tijolos com adição desses resíduos apresentaram melhoras nas propriedades estudadas em comparação aos tijolos sem adição de resíduo, apesar de não atender as especificações da norma quanto a capacidade de absorção de água.

Este estudo demonstrou que a adição de até 60% de resíduo em relação à massa de solo em blocos de solo-cimento se mostrou favorável, sem causar prejuízo para as características do bloco

Dessa forma, o aproveitamento destes resíduos na fabricação de tijolos de solo-cimento pode contribuir para a redução do grande volume de materiais que são descartados nas obras, sendo considerado uma ótima alternativa sustentável para o setor da construção civil.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2017. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2017.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Dosagem das misturas de solo-cimento; normas de dosagem e métodos de ensaios. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2004. 56p. (ET-35)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000. 16p. (BT-111)
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento. Rio de Janeiro, p. 3. 2012.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, p. 8. 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, p. 5. 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180 - Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, p. 3. 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, p. 12. 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10836: Bloco de solo-cimento sem função estrutural - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, p. 2. 1994.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10834: Bloco de solo-cimento sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, p. 3. 1994.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002: Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 2002. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 30 ago. 2019.
- LIMA, José Dantas de. Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil. EMLUR, 2000. 267 p.
- MENEZES, Mayko de Souza; PONTES, Fernanda Veronesi Marinho; AFONSO, Júlio Carlos. Panorama dos Resíduos de Construção e Demolição. Departamento de Química Analítica, Instituto de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/rqi/2011/733/RQI-733-pagina17-Panorama-dos-Residuos-de-Construcao-e-Demolicao.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2019.
- MILANI, Ana P. S.; FREIRE, Wesley J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento

e casca de arroz. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n1/30090.pdf>>. Acesso em 05 set. 2019.

PINTO, Gilberto Júnior Ferreira; MELO, Eusileide Suianne Rodrigues Lopes de; NOTARO, Krystal de Alcantara. Geração de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Métodos de Cálculo. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande/PB .IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campina Grande/PB, 2016. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/III-003.pdf>>. Acesso em 20 ago. 2019.

PINTO, Tarcísio de Paulo (Coord.) Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon-SP. São Paulo: Obra Limpa: I&T: Sinduscon-SP, 2005. Disponível em: <[http://www.sindusconsp.com.br/wp-content/uploads/2015/05/manual\\_residuos\\_solidos.pdf](http://www.sindusconsp.com.br/wp-content/uploads/2015/05/manual_residuos_solidos.pdf)>. Acesso em: 02 set. 2019.

VIEIRA, Geilma Lima; MOLIN, Denise Carpena Coutinho Dal. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Ambiente Construído, Porto Alegre, RS, v. 4, n. 4, p. 47-63, Dez./Out. 2004. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3575/1979>>. Acesso em: 02 set. 2019.