

## TIJOLOS ECOLOGICOS DE SOLO-CIMENTO: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DO TIJOLO UTILIZANDO DIFERENTES TRAÇOS COM SOLOS DA REGIÃO SERRANA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Lucas Do Canto Mendes, Beatriz Temtemples de Carvalho

### RESUMO

O tema sustentabilidade hoje é um dos principais enfoques da sociedade para diminuir os prejuízos que a natureza está sofrendo, se tornando prioridade para que nossos descendentes consigam viver nas mesmas condições que a gente daqui algumas décadas. A construção civil é um dos setores que contribuem fortemente com essa degradação do planeta através da enorme quantidade de lixo gerada e do consumo de matéria prima. Portanto o setor da construção civil precisa passar por mudanças que busquem o uso de novos métodos construtivos que sejam mais sustentáveis, baratos, rápidos e eficientes. O tijolo solo-cimento, é visto como uma alternativa para responder a essas demandas. Ele é composto pela mistura de solo, cimento e água, que são prensados e colocados em descanso para cura e realização dos processos químicos e físicos de endurecimento do cimento com o solo. Esse tijolo ficou conhecido também como tijolo ecológico por ele não precisar passar na sua fabricação pelo processo de queima, como ocorre nos tijolos convencionais, diminuindo a emissão de CO<sub>2</sub> na natureza. Porém ainda existem poucos estudos e desconhecimento dessa técnica construtiva, portanto este trabalho pretende estudar o desempenho do tijolo solo-cimento utilizando alguns traços diferentes com solo da cidade de Teresópolis, a fim de incentivar a comunidade local a produzir o tijolo e servir de manual técnico para produção dele. Os resultados encontrados no ensaio de resistência à compressão utilizando esse solo e esses teores de cimento, obtiveram resistência inferiores estabelecidos pela norma, porém gerou dados importantes para futuros trabalhos e fabricação do tijolo.

**Palavras-chave:** Tijolo-Ecológico. Sustentabilidade. Construção-Civil. Sistema-Modular. Tijolos Solo-Cimento.

### ABSTRACT

The sustainability theme today is one of society's main approaches to reduce the damage that nature is suffering, becoming a priority for our descendants to be able to live in the same conditions as us in a few decades nature've been suffering as a priority so our descendants become able to live in the same conditions as we do in a few decades. And civil construction is one of the sectors that most contribute to this degradation of the planet contributes the most with the planet degradation with its huge amount of generated waste and consumption of raw materials. Therefore, the civil construction sector needs to undergo changes that seek the use of a new construction methodologies that are more sustainable cheaper, sustainable, faster and more efficient; as the soil-cement brick that will be demonstrated in this work. It is composed of a mixture of soil, cement and water, which are pressed and placed in rest to cure and carry out the chemical and physical processes of cement hardening with the soil. This brick was also known as ecological brick because it does not need to go through the burning process in its manufacture, as in conventional bricks, reducing the emission of Co<sub>2</sub> in nature. However, there are still a few studies and lack of knowledge of this constructive technique, so therefore this work intends to study the performance of the soil-cement brick using some different traits with soil from the city of Teresópolis, in order to encourage the local community to produce the brick and serve as a technical manual for production of the same. The results found in the compressive strength test using this soil and these cement contents obtained lower strength established by the standard, but generated important data for future works and brick manufacture.

**Keywords:** Ecologic brick. Sustainability. Construction. System-Modular. Soil-Cement Bricks.

## INTRODUÇÃO

A partir do desenvolvimento das sociedades, discutir sobre a sustentabilidade tem se tornado necessário para garantir a sua sobrevivência, principalmente após as revoluções industriais ocorridas no século XX. e o aumento do aquecimento Global. Com isso, o consumo de matéria prima foi intensificado, ao ponto da natureza não conseguir repô-las na velocidade em que a sociedade as solicita, provocando grandes danos ao meio ambiente e ao equilíbrio ecológico.

A construção civil é responsável pelo consumo de 75% dos recursos naturais extraídos no planeta, e gera em torno de 80 toneladas de resíduos de obras anualmente, sendo uma das indústrias que mais afetam o meio ambiente (CTE, 2021). Além disso, a cadeia da construção civil é um dos setores que mais geram empregos no mundo, tendo uma importância significativa na economia mundial, tornando-se uma referência para outros setores. Com isso, o setor precisa passar por mudanças imediatas para que esse cenário possa diminuir, e o setor se torne exemplo para as outras indústrias.

O setor além de possuir esses pontos negativos citados acima, ele apresenta outro ponto negativo que é o alto custo tanto de materiais quanto de mão de obra. Segundo Souza (2013), as obras de construção civil e de infraestrutura no Brasil são bem mais caras e mais demoradas que de outros países que são concorrentes diretos, principalmente nos quesitos matéria prima e insumos. Com isso as pessoas pensam duas vezes antes de começar uma obra ou reforma, pois sabem o alto custo que podem ter e que talvez não tenham con-

dições de finalizar a obra devido à falta de dinheiro, além de muitas vezes ser um processo demorado e que dá muito trabalho.

Diante dos problemas abordadas no texto, novos processos construtivos estão sendo elaborado constantemente, e na maioria dos casos, ela busca alcançar quatro princípios, que sejam mais baratas, rápidas, sustentáveis e eficientes, para assim tentar amenizar essas dores que o setor da construção civil tem. Hoje já existem alguns métodos construtivos que atendem boa parte desses princípios como; construções modulares, casas pré-fabricadas, o Light Steel Frame, entre outros. Na construção modular existem várias opções, mas uma se destaca por atender todos os princípios mencionados acima, que é o tijolo modular solo-cimento, mais conhecido como tijolo ecológico.

O tijolo solo-cimento consiste em uma mistura de solo, cimento e água, compactados em prensas com moldes específicos para o sistema modular, podendo assim encaixar um em cima do outro na hora da execução. Um dos grandes diferenciais sustentáveis desse tijolo é que ele não precisa ser queimado na sua fabricação diminuindo a emissão de CO<sub>2</sub>, diferentemente dos tijolos cerâmicos convencionais que são queimados no forno. Outro ponto é sua forma modular, que diminui o uso de argamassas de assentamento e dispensa o uso de madeiras para formas de concreto por possuir geometria e furos que servem para serem enchidos de concreto, além de outros materiais que costumam ser descartados após a obra. Os tijolos de solo-cimento são considerados ecologicamente corretos, pois exigem baixa energia na obtenção da matéria-

-prima, não contaminam o meio ambiente em seu processo produtivo, não há necessidade de queima (o que gera grande economia energética e ainda minimiza o desmatamento), além das agilidades e menor custo que o sistema modular traz (DA SILVA, 2019).

Porém, por ser uma técnica construtiva pouco conhecida no setor, ainda existem poucos estudos e fontes que auxiliem pequenos produtores a fabricar seus tijolos em suas regiões, dentre as maiores dúvidas que existem, temos: “qual melhor solo para se usar?” e “qual a proporção certa de solo-cimento?”. Cada local possui um tipo de solo diferente com porcentagem de argila, silte e areias variadas, que afeta diretamente a qualidade do tijolo como também o traço a ser utilizado. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a fabricação de tijolo solo-cimento utilizando solos da região serrana do Rio de Janeiro, especificamente na cidade de Teresópolis-RJ. Submetendo diferentes traços de solo-cimento aos ensaios de caracterização do solo, resistência à compressão e de absorção do tijolo previstos nas normas regulamentadoras, a fim de alcançar os requisitos mínimos postulados nas normas técnicas brasileiras.

Ao final deste trabalho, é esperado que essa pesquisa incentive, na comunidade, o desejo de se produzir utilizando os tijolos solo-cimento na região de Teresópolis, além de funcionar com um manual técnico de produção servindo de apoio metodológico para a comunidade em geral.

## REVISÃO DA LITERATURA

A terra é um dos materiais de cons-

trução mais antigos utilizados pelo homem, e atualmente estima-se que 30% da população mundial more em construções feitas com solo (BOTINAS, 2017). O solo tem sua origem a partir de processos de decomposição física e química nas rochas, podendo ser classificados como argilas, siltes, areais e pedregulhos

A região Serrana do Rio de Janeiro possui características geológicas e geomorfológicas evidenciadas pela presença de montanhas compostas por rochas fraturadas, solos pouco espessos e vales. A dinâmica do uso do solo, por muitos anos, ocorreu sem uma política de gestão territorial definida, crescendo expressivamente, e ocupando de forma desordenada os bairros e as encostas, as pessoas instalaram-se em locais não adequados do ponto de vista geológico, tanto devido à facilidade de entrada quanto à falta de informações relacionadas às fragilidades dessa região.

De acordo com EMBRAPA SOLOS (2003), a região serrana apresenta relevo acentuado e solo pouco profundo, é constituída por depósitos de gnaisses e granitos, além de possuir solos bastante lixiviados, compreendendo cambissolos háplicos, neossolos e com ocorrência menos expressiva de latossolos vermelho-amarelo. Segundo ALTO URUGUAI (2015), a cidade de Teresópolis possui quatro tipos de solos predominantes, que são o Latossolo vermelho-amarelo Distrófico, Cambissolo háplico Tb Distrófico e Cambissolo háplico Tb Eutrófico, e uma pequena área de solo Argissolo vermelho Distrófico.

Dentre as técnicas construtivas com solos mais utilizados se destacam ao adobe, a taipa-de-pilão, a taipa de mão, e o solo-cimento. Os adobes feitos através de coloca-

ção de solo úmido em moldes e logo após retirados para serem usados se tornando um material pré-moldado. Já a taipa-de-pilão é uma técnica onde o solo é empregado no local de execução principalmente em paredes monolíticas moldadas in loco. E por último a taipa de mão, mais conhecida no Brasil como pau a pique, caracterizada pela combinação de madeira, bambu, varas, fibras e terra (NEVES & FARIA, 2011).

O Solo-cimento é uma mistura de solo com cimento Portland e água, e adquire resistência através das reações de hidratação do cimento. Ele pode ser dividido em três tipos: compactado, plástico e autoadensável. O compactado procura-se obter o solo numa umidade ótima a fim de obter maior densidade, já o plástico procure-se obter um produto de consistência plástica parecido como uma argamassa, e o autoadensável ainda está em período de experimentos, mas tem como característica que ele é capaz de preencher os moldes sob a ação do seu próprio peso alcançando o adensamento, essa mistura é muito utilizada em pavimentação e fabricação de tijolos solo-cimento (ALCANTARA & SEGANTINI, 2017).

A NBR 8491 (ABNT, 2012) define o tijolo vazado de solo-cimento como “*componente de alvenaria constituído de uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos e/ou pigmentos, com volume igual ou superior a 85% do seu volume total aparente*”. As dimensões devem atender a Tabela 01, cuja altura (H) seja maior que sua largura (L), a espessura mínima das paredes (e) da volta deve ser de 25mm e distância entre os

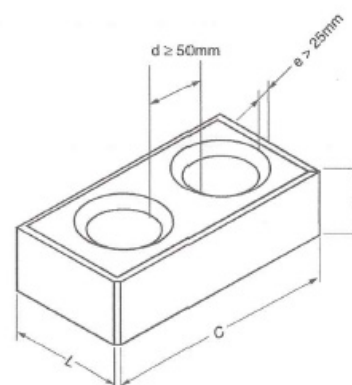
furos de 50mm como na Figura 01.

Tabela 1 - Tipos e dimensões nominais

Tipos	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: (ABNT, 2012)

Figura 1 - Tijolo vazado de solo-cimento



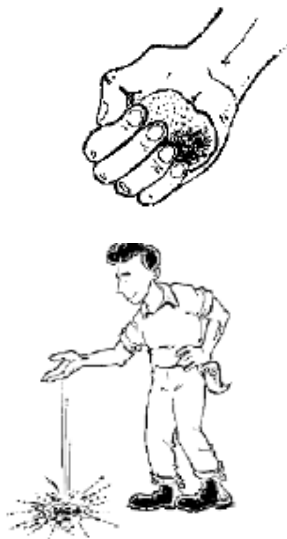
Fonte: (ABNT, 2012)

Seu sistema com 2 furos na vertical e arestas de encaixe, permite que eles sejam encaixados um no outro, e seus espaços verticais são usados para fazer colunas, passar conduites e sistemas hidráulicos, evitando de quebrar as paredes posteriormente para passar os mesmos, agilizando e evitando o desperdício de materiais na obra. Além do formato tradicional mostrado acima, existem outros tijolos com mesmas dimensões mas formas diferentes que ajudam na hora da execução das paredes, como o meio tijolo que serve para ser usado nos cantos das paredes, e o tijolo canaleta que permite a realização de vigas, vergas, e contra-vergas, como também a passagem de instalações, diminuindo assim também o uso de madeiras, pois elas são muito usadas para fazer caixas de coluna e vigas, como os mesmos são feitos dentro do tijolo não há necessi-

dade do uso da madeira.

Para fabricação dos tijolos, o solo é misturado ao cimento até obter coloração uniforme. Após isso, é acrescentado a quantidade de água necessária misturando-se novamente até obter umidade ótima. O procedimento mais empírico para verificar se a mistura está no ponto ideal é: pegar um punhado da mistura e apertar bastante na palma da mão de uma forma que ela fique todas as partes grudadas e os dedos marcados, gerando um bolo conforme a primeira imagem da figura 2, e de forma que se consiga dividir esse bolo em 2 partes sem ela desmanchar. O segundo passo é jogar esse bolo de uma altura próxima de 1 m, devendo ele, ao se chocar com o chão se esfarelar todo como na segunda imagem da figura 2, caso isso não ocorra, o solo não está com umidade no ponto certo, devendo ser revista. (ABCP, 2000)

Figura 2 - Verificação de Umidade



Fonte: (ABCP, 2000)

Com isso a mistura está pronta para ser colocada no molde, já ajustado, de uma prensa que pode ser manual ou automática.

Após sua prensagem, o bloco é retirado e colocado em local plano e limpo para o processo de cura. É necessário molhar o tijolo diariamente, durante 7 dias após sua fabricação, para garantir a cura efetiva. Após o 14º dia, o tijolo já pode ser usado na alvenaria conforme apresentado na NBR 8491:2012.

As NBR 8491:2012 e NBR10833-2012 especificam alguns requisitos mínimo que os tijolos devem obedecer para ter sua qualidade assegurada. Abaixo segue alguns requisitos importantes estabelecidos pela norma.

**Resistência à Compressão:** A amostra ensaiada não pode apresentar média dos valores de resistência à compressão menor que 2,0 MPa, e nem valor individual menor que a 1,7 MPa, com idade mínima de sete dias.

**Absorção de Água:** A amostra ensaiada não pode apresentar média dos valores de absorção de água maior que 20% nem valores individuais superiores a 22% com idade mínima de sete dias.

a) **Solo:** 100 % de material que passe na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

b) 10 % a 50% de material que passe na peneira com abertura de malha de 0,75 mm

c) Limite de liquidez menor ou igual a 45 %.

d) Índice de Plasticidade menor ou igual a 18 %.

Hoje o mercado oferece diversos tipos de tijolos e blocos para venda, eles são divididos em duas categorias; os de vedações e os estruturais, que lhe trazem duas formas distintas de construções. Segundo Pentead



## Artigo científico

(2011), uma residência de 33m<sup>2</sup> em fase de alvenaria pronta teve o custo de R\$ 6.812,30 no sistema de alvenaria convencional, R\$ 5.825,78 no sistema de alvenaria estrutural, e o no solo-cimento teve o custo de R\$ 5.698,44.

Para determinação dos traços a serem utilizados na pesquisa, foram revisados algumas produções científicas nos últimos anos que buscaram investigar o desempenho mecânico dos tijolos de solo-cimento.

No trabalho de Souza, et al., (2011) foi estudado o uso do solo da cidade de Juazeiro do Norte-CE para fabricação de tijolos solo-cimento. Onde foram realizados os ensaios de caracterização do solo, resistência a compressão simples, a tração indireta, absorção de água, durabilidade e avaliação dimensional dos tijolos. Na caracterização do solo foram realizados os ensaios de granulometria, limite de plasticidade, limite de liquidez e massa específica, os resultados dos ensaios concluíram que o solo coletado possui 74% de areia e 26% de silte+argila, o limite de liquidez foi de 22,65%, e de plasticidade de 15,55%, caracterizando um solo de Areia argiloso-siltosa de cor castanho avermelhado.

Para o ensaio solicitado pela norma, o autor utilizou dois traços de solo-cimento, um com 6% de cimento (16:1) e com 9,1% de cimento (10:1). No ensaio de compressão simples, o tijolo com traço de 6% de cimento obteve resistência de 1,33 MPa aos 7 dias e 2,47 MPa aos 28 dias, já com o traço de 10% de cimento obteve 2 MPa aos 7 dias e 4 MPa aos 28 dias. No ensaio da absorção de água, o traço de 6% obteve 12,67% aos 7 dias e 13,36% aos 28 dias, já o traço com 10% de cimento obteve 12,82% aos 7 dias e 11,92% aos 28 dias. Na

análise dimensional os resultados demonstraram que não houve variações consideráveis e valores muito baixos. E no de durabilidade, o traço de 6% obteve 2,66% aos 7 dias e 2,83% aos 28 dias, e o de 10% obteve 3,05% aos 7 dias e 3,30% aos 28 dias.

Os resultados obtidos demonstraram que o solo da cidade de Juazeiro do Norte para fabricação de tijolos solo-cimento obteve os valores consideráveis segundo as normas regulamentadoras para os traços estudados, podendo ser utilizado como alternativa econômica, viável e técnica para projetos habitacionais, mas em sua metodologia não menciona se os corpos de prova foram imersos antes do ensaio de compressão.

De Carvalho (2019) estudou a fabricação de blocos de terra comprimida utilizando um solo da ocupação Solano Trindade em Duque de Caxias-RJ, onde foram utilizados 6 traços com relações de Solo-cimento, Solo-Cal e Solo-Cal-RC (Resíduo Cerâmico). Considerando a mistura de Solo-cimento utilizado na proporção de 9,1% de cimento (10:1). Neste trabalho foram realizados todos os ensaios estabelecidos pela norma, para caracterização do solo foi feito a granulometria que indicou a presença de 40% de areia, 3% de pedregulho e 57% de argila+silte. O limite de Liquidez obteve 46%, o limite de Plasticidade 16% e o índice de Plasticidade 30%, a classificação indica um solo Argiloso, que não é um solo ideal para fabricação de tijolos solo-cimento, por isso a autora optou em fazer a correção do solo com a adição de 30% de areia, modificando as concentrações para 59% de areia e 41% de argila+silte

Após a correção do solo foram fabri-

cados os tijolos solo-cimento com o traço de 10:1 e submetidos ao ensaio de compressão simples, obtendo os valores de 2 MPa aos 7 dias e 4,8 MPa aos 28 dias. No ensaio de Absorção as amostras obtiveram um valor médio de 17,9%, e no ensaio de durabilidade obteve 3,95% de perda de massa.

Portanto, os resultados mostraram que o solo coletado não era adequado para fabricação do tijolo pela baixa presença de areia, porém com a correção da porcentagem de areia foi possível realizar a fabricação do tijolo e realizar os testes, e os mesmos obtiveram valores consideráveis conforme estabelece as normas regulamentadoras para fabricação de tijolos.

Fonseca et al. (2010), em seu trabalho comparou metodologias distintas no ensaio de compressão de tijolos de solo-cimento, o traço utilizado foi com 9% de cimento (11:1). A primeira metodologia foi seguindo rigorosamente os passos determinados pela NBR 8492 (ABNT, 2012). O segundo método foi feito seguindo os passos da metodologia anterior, porém com a junção de 2 tijolos inteiros e capeamento com enxofre. O terceiro método foi realizado igual a primeira metodologia, porém sem a imersão do corpo de prova na água antes dos ensaios.

Os resultados demonstraram que os tijolos ensaiados utilizando os métodos 1 e 2 não alcançaram a resistência necessária indicada pela norma obtendo valores médios menores que 2 MPa. Já a terceira metodologia obteve valores de resistência bem superiores ao mínimo solicitado pela norma, isso correspondeu a um ganho de 82% e 76% de resistência respectivamente em comparação com

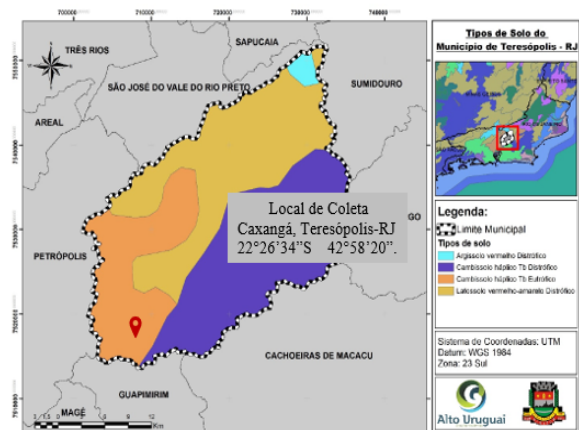
as metodologias 1 e 2.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre da fabricação de tijolo solo-cimento utilizando solos da região serrana do Rio de Janeiro, especificamente na cidade de Teresópolis-RJ. Com o propósito de entender quais são os traços de solo-cimento possíveis para fabricação do tijolo utilizando o solo da região, a fim de verificar se os resultados alcançaram os requisitos estabelecidos pela NBR 8491. Para fundamentação do estudo proposto, foram feitos os ensaios solicitados pelas normas regulamentadoras de tijolo solo-cimento, além de métodos de fabricação divulgados por associações da área.

Para este trabalho, após discussões, foi determinado que seria feito o estudo de somente um solo da região devido ao pouco tempo disponível. Através do estudo das referências sobre solo da região, foi escolhido que seria coletado um solo da área urbana de Teresópolis, especificamente no bairro do Caxangá que ocorreu no dia 03/09/2022 na coordenada  $22^{\circ}26'34''S$   $42^{\circ}58'20''$  indicado na figura 3.

Figura 3 - Localização do solo coletado



Fonte: Alto Uruguai, 2015 / O Autor, 2022

Foi escavado um pedaço de talude na localização indicada, sendo descartado os primeiros 30cm pertencente ao horizonte A, que era composto de um solo preto orgânico e materiais de entulho, portanto o solo retirado pertence ao horizonte B com coloração mais amarelada conforme a figura 4, foi retirado cerca de 8 sacos de 15 litros de solos, e guardado em um local fechado para ser levado ao laboratório.

Figura 4 - Coleta do Material



Fonte: O Autor, 2022

De acordo com o mapa do ALTO URUGUAI (2015), o solo retirado corresponde a um cambissolo háplico Tb Eutrofico, a EMPRAPA (2018) define o cambissolo como solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente, ele tem textura fran-

coarenosa ou argilosas, de cor bruna ou bruna-amarelada até vermelho-escura, de alta e baixa saturação. O subgrupo Háplicos tb Eutrófico é definido como solo com argila de atividade baixa e saturação por bases  $\geq 50\%$ , ambas na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.

Para melhor entendimento e fundamentação teórica do solo retirado foi feito os ensaios de caracterização do solo descrita na tabela 2.

Tabela 2 - Ensaio de Caracterização do Solo

ENSAIO	
Granulometria	NBR 7181 (ABNT,2016)
Limite de Liquidez	NBR 7181 (ABNT,2016)
Limite de Plasticidade	NBR 7181 (ABNT,2016)
Massa Específica dos Grãos	NBR 7181 (ABNT,2016)

Fonte: O Autor, 2022

Além dos ensaios feitos em laboratório, foram realizados alguns ensaios empíricos segundo o trabalho de Neves, et al (2009). O primeiro ensaio foi o teste do vidro, que demonstra a granulometria dos grãos dos solos através da sedimentação em água. Uma porção de solo é colocado em um vidro transparente e junto com água e uma pitada de sal, após o vidro é fechado e agitado para que haja dispersão do solo em água, o mesmo é colocado em repouso até que os componentes estejam decantados formando camadas diferentes. Após a decantação é utilizado uma régua para medir as alturas de cada camada e calcular as porcentagens de cada componente.

O segundo teste empírico é o do cordão que demonstra a coesão e a plasticidade da terra em uma determinada umidade, para realização desse procedimento é tomado uma



porção de solo e aos poucos é adicionado água até que seja possível formar um cordão com 3mm de diâmetro através de rolamento sobre uma superfície lisa. Após forma-se uma bola com esse solo úmido, e verifica-se a força necessária para esmagá-lo com o polegar e o indicador.

No teste da fita que relaciona a plasticidade com o tipo de terra, o procedimento consiste em pegar solo úmido utilizado no teste do cordão, e fazer um cilindro de tamanho de um cigarro, e com o polegar direito e indicador é amassado até formar uma fita com maior comprimento possível.

### Fabricação Do Tijolo

Através das referências estudadas percebeu-se que o traço mais utilizado para fabricação de tijolo solo-cimento é 10:1, no trabalho de Souza (2011) chegou-se a usar o traço de 16:1 obtendo valores consideráveis nos ensaios realizados. Para esse estudo foram determinados a realização de 5 traços para fabricação e testes, os traços estão descritos na tabela 3.

Tabela 3 - Traços Utilizados

Traço	Proporção Solo-Cimento	% de Solo	% de Cimento	Volume de água (%)
T1	8:1	88,88%	11,12%	3,34%
T2	10:1	90,9%	9,1%	1,81%
T3	13:1	92,3%	7,7%	2,32%
T4	16:1	93,33%	6,67%	1,93%
T5	18:1	94,22%	5,88%	1,95%

Fonte: O Autor, 2022

Primeiramente o solo coletado foi peneirado na peneira de malha de 4,75 mm conforme solicitado pela NBR 10833 (ABNT, 2012) demonstrado na figura 5, o material pas-

sante foi colocado ao sol para secagem e guardado no laboratório, o restante foi descartado.

No dia 16 de setembro de 2022 foi realizado a produção dos tijolos solo-cimento, o solo foi dividido em 5 partes, cada parte foi colocado em separado na masseira junto com a sua proporção de cimento determinada na tabela 3. Na figura 6 mostra o traço sendo misturado até ficar homogêneo e molhado até chegar na umidade ótima através do teste da queda da bola conforme demonstrado na figura 2. O cimento utilizado foi o Cimento Portland CP-III da marca Campeão.

Após da mistura, o traço foi colocado na prensa manual de tijolos da marca Verde Equipamentos conforme a figura 7, e prensados uma média de 12 tijolos por traço, o mesmo processo foi realizado em cada traço totalizando 72 tijolos fabricados, estes foram guardados no laboratório e molhados conforme a figura 8.

Figura 5 – Peneiramento, Mistura, Prensagem





Fonte: O Autor, 2022

Figura 6 - Tijolos Fabricados



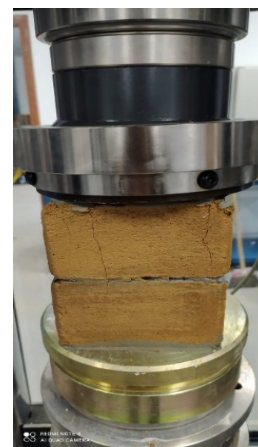
Fonte: O Autor, 2022

### Ensaio de Compressão

O primeiro ensaio de compressão foi realizado no dia 23 de setembro aos 7 dias de cura do tijolo, e no dia 14 de outubro com 28 dias de cura conforme solicitados pela NBR 8492 (ABNT, 2012) seguindo os procedimentos preconizados pela norma. Antes de cada ensaio foram cortados pelo menos 3 tijolos de cada traço e sobrepostos ligando com uma camada fina de pasta de cimento no traço de 3 de cimento e 1 de água, os mesmos foram capeados com pasta de cimento nas partes de baixo e de cima do corpo de prova conforme a figura 9.

No ensaio aos 7 dias de cura, os corpos de prova foram imersos em água antes do ensaio como determina a norma, os mesmos foram retirados na hora do ensaio sendo enxugados superficialmente com um pano e submetidos ao ensaio de compressão simples na máquina de compressão da solo test, e na máquina universal de ensaios exemplificados na figura 10. Aos 28 dias de cura foi repetido o mesmo procedimento realizado no ensaio de 7 dias de cura.

Figura 7 - Corpos de Prova e Ensaio de Compressão



Fonte: O Autor, 2022

### Ensaio de Absorção

Para ensaio de absorção de água foi seguido as orientações da NBR 8492 (ABNT, 2012), onde foram retirados 3 tijolos de cada traço totalizando 15 tijolos. O primeiro procedimento foi colocar no dia 5 de outubro a

amostra em estufa durante 24 horas, no dia seguinte os tijolos foram pesados e anotados seus valores secos, logo após os mesmos foram emersos em um tanque de água durante 24 horas. No terceiro dia as amostras foram retiradas do tanque e enxugadas superficialmente com pano para ser pesados molhados e assim serem feitos os cálculos de absorção de água, os resultados encontrados estão na tabela 6.

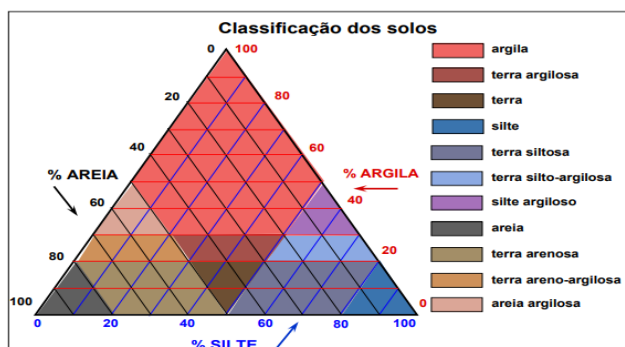
### Análise Dimensional

Para verificação dimensional foi utilizado um metro para medição dos tamanhos de cada tijolo, e anotados em uma tabela.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para classificar o solo a partir das proporções de cada componente, foi utilizado o diagrama de Moran (1984) apud Neves et al, conforme apresentado na figura 11 abaixo.

Figura 8 - Diagrama de Classificação de Solos

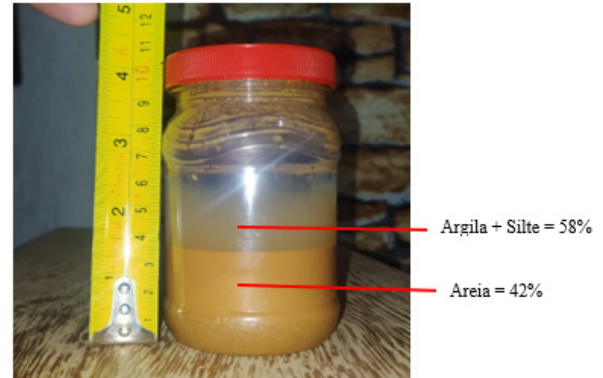


Fonte: (NEVES C. M., FARIA, ROTONDARO, SALAS, & HOFFMAN, 2009)

O primeiro ensaio empírico foi o teste do vidro demonstrado na figura 12 abaixo, a primeira camada a se decantar é a areia correspondendo a uma quantidade de 42% do total, a segunda camada corresponde ao silte e argila

correspondendo a 58% do total. Por esse método seguindo a figura 11, podemos classificar o solo como terra argilosa.

Figura 9 - Teste do Vidro



Fonte: O Autor, 2022

O segundo teste realizado foi o chamado teste do cordão, em que foi possível formar um cordão com 3mm de diâmetro sem se romper, e ao formar a bola com o cordão o esmagamento foi feito de forma suave, por ser pouco resistente e fissurar e esmigalhar facilmente. Com esses resultados esse solo pode ser um dos seguintes tipos; terra argilo-siltosa, arenosa ou areno-argilosa, de plasticidade mediana.

Figura 10 - Cordão com 3mm e Esmagamento da bola



Fonte: O Autor, 2022

O terceiro teste foi o chamado teste da fita, onde foi formado um cilindro com tamanhos e espessuras de um cigarro conven-

cional, e após amassado com os dedos chegando em um tamanho de 12 cm. A partir desse resultado esse solo possui uma característica argilosa com alta plasticidade. A seguir na tabela 4 segue os resultados de caracterização do solo que foi utilizado para fabricação do Tijolo realizado nos laboratórios da Unifeso.

Tabela 4 - Resultado do Ensaio de Caracterização do Solo

GRANULOMETRIA			
Argila +Silte		48,3%	
Areia	Fina	17,6%	50,4%
	Média	15,3%	
	Grossa	17,5%	
Pedregulho		1,38%	
LIMITE DE ATTERBERG			
Limite de Liquidez		25,31%	
Limite de Plasticidade		21,61%	
Índice de Plasticidade		3,7%	
CLASSIFICAÇÃO			
Tipo de Solo		Terra Areno-Argilosa	

Fonte: O Autor, 2022

Os resultados encontrados mostraram que o solo é tipo Areno-Argilosa conforme a figura 11 com cerca de 50,4% de Areia e 48,3% de argila e silte, essa porção de argila foi o suficiente para prensar os tijolos e retirar da máquina de prensa sem se desmanchar. Portanto os solos atendem os requisitos estabelecidos pela NBR 10833 (ABNT, 2012), atendendo de 10% a 50% passante na peneira de 0,75mm, apesar de possuir valores bem próximos ao limite dos 50%, o limite de liquidez foi inferior a 45%, e índice de plasticidade menor que 18%.

Os resultados de granulometria realizados em laboratórios foram bem parecidos

com os resultados dos ensaios empíricos, o teste do vidro evidenciou a presença de cerca de 58% de silte e argila e 42% de areia, já no de granulometria 48,3% de silte e argila e 50,4% de areia. Portanto como o ensaio do vidro é difícil ter uma precisão exata da porcentagem de cada componente, podemos concluir que os resultados dos ensaios bateram iguais, e os mesmos através da classificação utilizando a figura 11, estiveram na mesma faixa de tipologia de solo que foi a terra areno-argilosa.

No teste do cordão, um dos resultados obtidos foi a terra areno-argilosa, exatamente a mesma classificação obtida no ensaio de granulometria. O teste da fita também evidenciou que o solo é um tipo argiloso, comprovando os resultados de granulometria realizados.

### Ensaio De Compressão

No traço T4 aos 07dias, só foi possível obter os resultados de 1 corpo de prova pois os outros 2 corpos de provas que foram submetidas ao ensaio, não apresentaram resultados devido a algum problema na máquina, com isso o último corpo foi ensaiado em outra máquina para não perder todos os resultados.

Conforme é possível verificar na Tabela 5, o desempenho mecânico dos tijolos aos esforços de compressão foi abaixo de 2MPa, não atendendo aos requisitos estipulados pela norma. Após análises acredita-se que os resultados foram menores devido a grande quantidade de finos (silte+argila) no solo, os resultados de caracterização do solo demonstraram que o solo possuía uma porcentagem de 48,3% de silte e argila. A NBR 10833 (ABNT, 2012) define que o solo precisa passar de 10% a 50% de material na peneira de 0,75mm, que



é a peneira que faz a separação entre areia e os finos, portanto como o valor de finos foi bem próximo ao máximo estabelecido na norma, a diminuição da resistência do tijolo pode ter acontecido devido a essa grande quantidade de finos no solo.

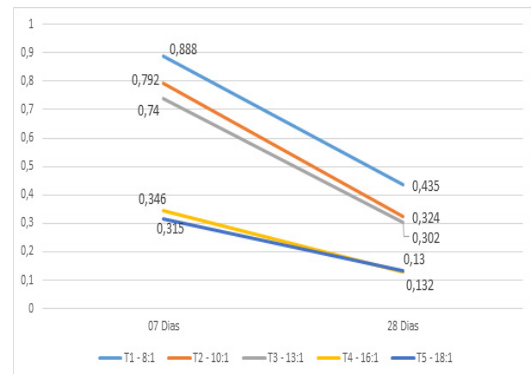
Tabela 5 - Resultado de Ensaio a Compressão

Traço	Idade	Fc (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
T1	07 Dias	0,888	0,15	17,27
	28 Dias	0,435	0,05	11,71
T2	07 Dias	0,792	0,17	22,64
	28 Dias	0,324	0,01	5,61
T3	07 Dias	0,74	0,079	10,78
	28 Dias	0,302	0,03	10,11
T4	07 Dias*	0,346	0	0
	28 Dias	0,13	0,023	17,87
T5	07 Dias	0,315	0,073	23,02
	28 Dias	0,132	0,02	20,47

\* Só foi possível ensaiar com 1 corpo de prova  
 Fonte: O Autor, 2022

Conforme Ibeiro (2016), o solo-cimento tem maior eficiência em solos arenosos pela maior resistência obtida, já a presença de altos teores de argila pode retardar a hidratação e endurecimento do cimento. O cimento se estabiliza melhor com areia devido a maior presença de vazios em sua estrutura, onde o cimento consegue penetrar e agir como ponto de contato entre os grãos ocasionando a cimentação. Já os solos finos precisam de maior quantidade de cimento por não apresentar vazios e apresentar maior superfície específica que é onde o cimento atua para estabilizá-lo.

Tabela 6 - Variância de Resistencia a Compressão dos Traços



Fonte: O Autor, 2022

Porém, foi possível perceber alguns resultados nos ensaios realizados conforme a tabela 6, primeiramente ocorreu uma diminuição de resistência no tijolo do 7º dia para o 28º dia de cura, que é um fato estranho e precisa ser mais bem estudado para entender o motivo dessa diminuição, pois o comum é que ele tenha um ganho de resistência ao passar do tempo. Conforme a tabela 6 podemos observar que os traços T1, T2, e T3 obtiveram valores parecidos e mais altos, já o T4 e T5 obtiveram valores bem próximos entre si, porém valores bem menores que os primeiros, no ensaio de 7 dias houve uma queda de 58% entre o G1 (T1, T2, T3) e o G2 (T4, T5), já no ensaio de 28 dias houve uma diminuição em 62% do G1 para o G2.

Esses resultados foram parecidos com o trabalho de Neto (2014), o mesmo possuía uma porcentagem alta de finos no solo, e os corpos de prova com 10% de cimento obteve valores com média de 0,32 MPa aos 7 dias, e 0,20 MPa aos 28 dias de cura. O autor realizou ensaios também com maiores proporção de cimento, e os resultados de compressão aumentaram proporcionalmente ao teor de ci-



mento. Outro ponto semelhante nos trabalhos foi o fato de perder resistência ao longo do tempo, um fato estranho que precisa de mais estudos para se entender o motivo.

Outro fator que pode ter diminuído a resistência é o fator de ser imerso em água antes do ensaio, no trabalho de Fonseca, et al (2010) chegou-se à conclusão que há uma grande diferença entre a resistência de um tijolo úmido e do seco, o tijolo seco teve um ganho em média de 79% ao tijolo úmido, e esses tijolos úmidos também possuíram valores menores que os 2MPa estabelecidos pela norma, além disso verificou-se que em algumas referências utilizadas os autores não especificaram se foi realizado o ensaio com o tijolo seco ou úmido.

Após verificação dos resultados e da metodologia, encontrou-se alguns pontos que precisam ser melhorados na norma de ensaio do tijolo que dificultaram muito os ensaios. Primeiramente, a norma solicita que o tijolo seja cortado ao meio, e nesse processo é muito difícil deixar as duas partes iguais, e alguns pedaços sempre se despedaçam que pode afetar no ensaio. O segundo ponto é sobre o capeamento que é pedido, não é mencionado o traço da pasta de cimento a ser utilizado, e por ser um método manual é difícil manter a perpendicularidade do corpo de prova na hora de montar as camadas, e isso pode atrapalhar também na máquina de compressão se ela não tiver rótula para se adaptar. Por isso recomenda-se que a norma seja revisada a fim de obter resultados mais assertivos e padronizados e que facilite esse processo.

### Ensaio de Absorção

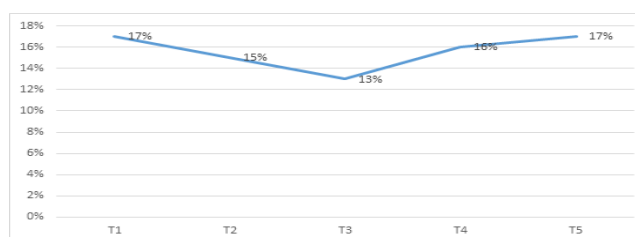
Os resultados de Absorção de água foram satisfatórios conforme a NBR 8491 (ABNT, 2012), que determina que os tijolos não podem possuir média de absorção maiores que 20% e nem valores individuais superiores a 22%.

Tabela 7- Resultado do Ensaio de Absorção

TRAÇO	Idade	Peso Seco Média (kg)	Peso Úmido Média (kg)	Absorção %
T1	21 Dias	2,85	3,34	17
T2	21 Dias	2,86	3,37	15
T3	21 Dias	2,82	3,25	13
T4	21 Dias	2,69	3,22	16
T5	21 Dias	2,69	3,23	17

Fonte: O Autor, 2022

Tabela 8 - Variância de Absorção de Água dos Traços



Fonte: O Autor, 2022

### Análise Dimensional

Tabela 9 - Resultado de Análise Dimensional

Tipo	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
B	250	125	90

Fonte: O Autor, 2022

Todos os tijolos analisados obtiveram mesma dimensão com variação em milímetros que não interfere na análise, as dimensões seguem na tabela 8, de acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012) a amostra deve satisfazer as tolerâncias dimensionais de 1,00mm para comprimento (C), largura (L) e altura (H).

O tijolo possui a forma de um paralelepípedo retangular, com furos no eixo per-

pendicular a superfície de assentamento, e espessura das paredes de 32,5mm, diâmetro dos furos de 60mm, e distância mínima dos furos de 50mm, os resultados confirmam a relação sendo a altura menor que a largura.

## CONCLUSÃO

Portanto com o presente trabalho podemos concluir que os traços estudados obtiveram resultados satisfatórios de absorção de água e análise dimensional, porém os de resistência a compressão foi bem menor que o mínimo estipulados pela norma. Desse modo esses tijolos fabricados com esse solo e esses teores de cimento não podem ser usados, por isso é importante fazer os ensaios para cada situação e assim verificar se o tijolo possui as características estabelecidas pela norma.

Conforme a NBR 10833 (ABNT, 2012) o solo utilizado possui as características solicitadas para fabricação de tijolos solo-cimento, porém após os ensaios de resistência a compressão e os resultados abaixo dos mínimos estabelecidos, percebeu-se que o solo por possuir grandes quantidades de finos, precisa ser corrigido com areia ou ser usado com maiores quantidades de cimento para obter uma resistência suficiente para atender a norma, pelo fato do cimento reagir melhor com a areia e seus vazios existente realizando a cimentação dos grãos.

Recomenda-se que para futuros trabalhos usando essa mesma proporção de componentes do solo, seja utilizado traços entre 1:5 até 1:8 a fim de verificar se atendem os 2 MPa estabelecidos pela norma. Outra pesquisa interessante seria entender a relação de resistência do solo-cimento com a porcentagens

de finos no solo, e assim ajudar a estabelecer as proporções ideais de cimento para cada solo para obter as resistências necessárias.

Recomenda-se também que a NBR 8492 de ensaio do tijolo solo-cimento seja revisada, afim de melhorar e especificar melhor os procedimentos para o ensaio de resistência a compressão. O método descrito carece de detalhes importantes, e são difíceis de serem executados, como o corte exato ao meio do tijolo, o capeamento, a falta de informação sobre o traço da pasta de cimento a ser utilizada, e como regularizar a superfície para não afetar os resultados dos ensaios

## REFERÊNCIAS

1. ABCP. (2000). Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND(3), 16.
2. ABNT. (2012). *NBR 10833: Fabricação de Tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento*. Associação Brasileira de Normas Técnicas .
3. ABNT. (2012). *NBR 8491: Tijolo de solo-cimento - Requisitos*. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRADENORMASTÉCNICAS, Rio de Janeiro.
4. ABNT. (2012). *NBR 8492 : tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, derterminação da resistência a compressão e da absorção de água - Método de Ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
5. Alcantara, M. A., & Segantini, A. A. (2017). Solo-Cimento e Solo Cal. Em G. C. Isaia, & G. C. Isaia (Ed.), *Materiais d Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais* (3ª ed., Vol. 2, pp. 885-922). São Paulo: IBRACON.
6. ALTO URUGUAI . (2015). *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGIRS*. AGEVAP,

- Teresópolis.
7. Botinas, R. d. (2017). *ESTUDO DO SOLO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL*. Departamento de Engenharia Civil de Coimbra, Coimbra.
  8. CTE. (2021). *Sustentabilidade: CTE*. Acesso em 07 de Novembro de 2022, disponível em CTE Centro de Tecnologia de Edificações: <https://cte.com.br/blog/inovacao-tecnologia/consumo-sustentavel-como-a-construcao-civil-pode-assegurar-novos-padroes-de-producao/>
  9. da Silva, R. P. (2019). TIJOLO ECOLÓGICO E SEUS BENEFÍCIOS PARA O MEIO AMBIENTE EM UMA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. *ENAPROC*, 1, 3.
  10. de Carvalho, B. T. (2019). *ARQUITETURA COM TERRA NA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDO PARA PRODUÇÃO DE HABITAÇÃO*. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro.
  11. de Souza, S. M., Torres, S. M., Barbosa, N. P., Ghavami, K., & de Souza, J. R. (Dezembro de 2011). Potencial do Solo de Juazeiro do Norte Para Fabricação de Blocos Prensados de Terra Crua. *Revista Principia*(19), 47-57.
  12. Embrapa Solos. (2003). *Zoneamento Agroecológico do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
  13. Embrapa. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. *Embrapa Solos*(5).
  14. Fonseca, B. F., de Medeiros, H. T., Neto, J. V., & Lopes, R. A. (2010). COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS DE ENSAIO DE COMPRESSÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO. *Universidade*.
  15. Globo. (2014). *Globo Ciência: notícia*. Acesso em 05 de Abril de 2021, disponível em Globo Ciência : <http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2013/07/construcao-civil-consome-ate-75-da-materia-prima-do-planeta.html>
  16. Ibeiro, L. d. (2016). Estudo da distribuição dimensional de poros e da condutividade hidráulica de solos arenosos compactados tratados com cal e cimento. p. 173.
  17. Jornal do Sudoeste. (2017). *Notícias*. Acesso em 09 de Abril de 2021, disponível em Jornal do Sudoeste: <http://www.jornaldosudoeste.com.br/noticia.php?codigo=1951>
  18. Neto, J. A. (2014). Estudo de Misturas de Solo-Cimento para Utilização em Estacas. *FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS - FATECS*.
  19. Neves, C. M., Faria, O. B., Rotondaro, R., Salas, P. C., & Hoffmann, M. (2009). SELEÇÃO DE SOLOS E MÉTODOS DE CONTROLE NA CONSTRUÇÃO COM TERRA - PRÁTICAS DE CAMPO. *Rede Ibero-americana PROTERRA*.
  20. Neves, C., & Faria, O. B. (2011). *Técnicas de construção com terra*. Acesso em 06 de Novembro de 2022, disponível em ProTerra: <https://redproterra.org/pt/>
  21. PENTEADO, P. T., & MARINHO, R. C. (2011). *ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO E PRODUTIVIDADE DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS: ALVENARIA DE SOLO-CIMENTO, ALVENARIA COM BLOCOS CERÂMICOS E ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS DE CONCRETO NA CONSTRUÇÃO DE UMA RESIDÊNCIA POPULAR*. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, CURITIBA.
  22. Souza, C. C. (2013). *Agrolink: Colunistas*. Acesso em 05 de Abril de 2021, disponível em Agrolink: [https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/porque-os-custos-de-construcao-civil-e-de-infraestrutura-ainda-sao-bem-mais-caros-no-brasil-e-a-qualidade-continua-muito-ruim-\\_386686.html](https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/porque-os-custos-de-construcao-civil-e-de-infraestrutura-ainda-sao-bem-mais-caros-no-brasil-e-a-qualidade-continua-muito-ruim-_386686.html)