

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA VICTOR CIVITA – FATEC TATUAPÉ

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE
EDIFÍCIOS

Giovanna Rezende de Souza
Renata Martins Campos do Nascimento

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS
DO TIJOLO ECOLÓGICO CONFECCIONADO COM
CIMENTO, FILITO, AREIA E ARGILA EXPANDIDA**

São Paulo
2021

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA FACULDADE DE TECNOLOGIA VICTOR CIVITA – FATEC
TATUAPÉ**

**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE
EDIFÍCIOS**

Giovanna Rezende de Souza

Renata Martins Campos do Nascimento

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS
DO TIJOLO ECOLÓGICO CONFECCIONADO COM
CIMENTO, FILITO, AREIA E ARGILA EXPANDIDA**

Trabalho de Graduação apresentado por
Giovanna Rezende de Souza e Renata Martins
Campos do Nascimento como pré-requisito para
a conclusão do Curso Superior de Tecnologia
em Construção de Edifícios, da Faculdade
Tecnologia do Victor Civita - Tatuapé, elaborado
sob a orientação da Profa. Dra. Vanessa
Montoro Taborianski.

São Paulo

2021

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA VICTOR CIVITA – FATEC TATUAPÉ

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE
EDIFÍCIOS

Giovanna Rezende de Souza, Renata Martins Campos do Nascimento

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS
DO TIJOLO ECOLÓGICO CONFECCIONADO COM
CIMENTO, FILITO, AREIA E ARGILA EXPANDIDA**

Aprovado em: ____ de ____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Carlos Bertevello – Faculdade de Tecnologia Victor Civita –
FATEC Tatuapé

Profa. Dra. Michelle Santos Rodrigues - Faculdade de Tecnologia Victor Civita –
FATEC Tatuapé

Profa. Dra. Vanessa Montoro Taborianski Bessa Faculdade de Tecnologia Victor
Civita
– FATEC Tatuapé – (Orientadora)

Análise das características físicas e mecânicas do tijolo ecológico confeccionado com cimento, filito, areia e argila expandida

Giovanna Rezende de Souza¹, Renata Martins Campos do Nascimento²,
Vanessa Montoro Taborianski³

Faculdade de Tecnologia Victor Civita – FATEC Tatuapé
Tecnologia em Construção de Edifícios

Resumo – O presente trabalho visa ao longo de seus tópicos destacar como a construção sustentável vem alcançando cada vez mais espaço junto aos empreendimentos, sendo ressaltado um dos principais componentes que é o tijolo ecológico. Ao longo do conteúdo são expressas as principais características e avaliações sobre a utilização dos tijolos ecológicos dentro da rotina operacional das empresas. Os objetivos deste trabalho são analisar as características físicas e mecânicas, massa unitária e específica real dos materiais, resistência à compressão, absorção e densidade dos tijolos confeccionados de forma ecológica. Fundamentando assim, se ocorre algum impacto considerável na rotina da construção devido a utilização de tijolos promovidos com compostos ecológicos. Para destacar ou ressaltar os pontos observados na confecção de tijolos ecológicos realizou-se um experimento a fim de compreender as densidades e demais características dos produtos em relação aos demais utilizados na rotina construtiva. Os ensaios mostram que a argila expandida é um agregado poroso, e dessa maneira, tem a capacidade maior de absorção de água. Ainda que os resultados dos ensaios de resistência à compressão mostraram serem insatisfatórios ao estabelecido pela ABNT NBR 8491 (2012), os tijolos que possuem argila expandida na composição do traço apresentaram um valor de resistência maior, em comparação ao traço referencial. Já no ensaio de densidade, os tijolos de argila expandida em comparação ao traço referencial, apresentaram uma diminuição na sua densidade, isto significa que adicionando a argila expandida nos tijolos é possível diminuir o peso do mesmo.

Palavras-chave: Construção sustentável; Tijolo ecológico; Sustentabilidade.

1. Introdução

Ao longo dos anos a forma de desenvolvimento das atividades econômicas vem ganhando cada vez mais espaço e sendo base de muitos debates, algo que ficou bem evidente ao longo do tempo foi a necessidade de as empresas, em qualquer segmento, promoverem um alinhamento de suas atividades junto ao ambiente onde estão localizadas. Promovendo, dessa forma,

¹ giovanna.souza9@fatec.sp.gov.br

² renata.nascimento2@fatec.sp.gov.br

³ vanessa.bessa01@fatec.sp.gov.br

um desenvolvimento sustentável e minimizando de forma considerável os traços deixados junto ao ambiente de suas atividades.

A construção civil por muitos anos foi considerada ou apontada como uma das atividades que mais promove impactos junto ao meio ambiente, em geral pela utilização de determinados componentes em suas ações e pelos impactos causados muitas vezes ao solo diante dos procedimentos de construção. Porém, existem procedimentos aplicados dentro da rotina de construção buscando minimizar os possíveis impactos ambientais promovidos pela mesma, essa nova forma de construção é denominada construção sustentável (CORRÊA, 2019).

Ao longo do trabalho aborda-se sobre uma das principais medidas adotadas para promover o desenvolvimento sustentável junto a construção civil: a criação de tijolos ecológicos. Observa-se que esses têm sua composição diferenciada, assim como impactam menos o meio ambiente, algo que é de extrema importância dentro da rotina das construtoras.

O trabalho tem por objetivo analisar as características físicas e mecânicas, massa unitária e específica real dos materiais, resistência a compressão, absorção e densidade dos tijolos ecológicos, promovendo uma análise dos mesmos em um experimento para análise da viabilidade do uso.

No processo de desenvolvimento do trabalho, realizou-se uma revisão de literatura, assim como experimentos com alguns compostos utilizados no processo de desenvolvimento dos tijolos ecológicos, a fim de compreender e evidenciar suas principais características e se dentro da rotina construtiva pode-se verificar algum impacto.

2. Referencial Teórico

2.1 Construção Sustentável

A construção sustentável é a aplicação dos princípios de desenvolvimento sustentável ao ciclo de vida de um edifício, desde o planejamento da construção, construção, mineração de matéria-prima até a produção e transformação em material de construção, uso, disposição final da construção e gerenciamento de resíduos. É um processo holístico que visa manter a harmonia entre a natureza e o ambiente construído, criando assentamentos adequados ao ser humano e de suporte econômico e de igualdade.

Na Construção Civil, verifica-se que realizar os procedimentos sustentáveis está ligado diretamente aos produtos utilizados pelas empresas, assim como uma gestão dos resíduos formados ao longo dos processos de construção. De acordo com Couto; Couto; Teixeira (2016), a utilização de materiais reciclados ou recicláveis dentro das rotinas da construção civil pode ser um passo para o desenvolvimento sustentável, assim como promover um controle eficiente quanto aos resíduos sólidos formados ao longo das operações junto a construção.

De acordo com Pinheiro (2016), as questões envolvendo meio ambiente e as rotinas empresariais proporcionou o desenvolvimento de uma área gerencial voltada para supervisão e verificação dos resíduos criados pelas empresas ao longo de suas atividades, e como esses podem ser descartados ou utilizados para não gerar impactos junto ao meio ambiente. Vale ressaltar que os resíduos criados por parte de algumas atividades empresariais é uma das principais bases para problemas ambientais no campo empresarial, sendo necessário promover um planejamento para que os mesmos sejam minimizados ou descartados da forma mais sustentável possível.

De acordo com CIC (2018), os procedimentos de sustentabilidade aplicados junto a construção são voltados principalmente para os materiais utilizados ao longo do processo de construção, promovendo uma verificação de quais produtos podem ser aplicados nas rotinas dos empreendimentos buscando minimizar os impactos ambientais. Essa medida por parte das empresas da área são uma forma também de conceder uma visão melhor de suas atividades junto aos consumidores, uma vez que esses passaram a observar e avaliar mais profundamente as construtoras e suas ações quanto a parte ambiental.

O desenvolvimento de materiais e novas rotinas dentro da gestão podem ser considerados os pontos chaves para a construção sustentável, uma vez que os procedimentos aplicados e as metodologias das atividades são alinhadas por meio da visão empresarial apresentada pelos gestores. Por isso, Corrêa (2019) considera que um dos mais importantes passos no desenvolvimento da construção sustentável consiste na visão concedida pelos administradores ou gestores (TECHNE, 2014).

2.2 Tijolo Ecológico

Segundo o Conselho Internacional de Construção (CIB), a indústria da construção é a que mais explora e consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando assim impactos ambientais bastantes consideráveis.

Em seu estudo, Wieczynski (2015) apresenta a utilização de tijolos ecológicos como uma das maneiras encontradas pelas empresas para promover uma maior sustentabilidade em suas atividades, assim como minimizar os impactos ambientais relativos aos processos ou procedimentos de construção. Na visão do autor, a criação de materiais ecológicos foi um importante passo para as empresas de construção civil, dando as mesmas uma boa oportunidade no desenvolvimento de suas rotinas.

O sistema de alvenaria com tijolos ecológicos prensados de solo-cimento foi desenvolvido como uma alternativa para alvenaria armada considerando armaduras verticais e horizontais em seu interior. A alvenaria é constituída por blocos alveolares de dimensões modulares que permitem a coincidência das unidades e a passagem dos varões de reforço pelos alvéolos. Tanto as colunas quanto as vigas de amarração são construídas com as unidades de solo – cimento (MARTINEZ; GONZALEZ, 2010).

Na visão de Dobón (2019), a ideia de fazer o tijolo modular ecológico surgiu como uma alternativa aos tijolos tradicionais que são queimados. Os tijolos modulares ecológicos foram fabricados com terra bruta e cimento, por serem isolantes e não gerarem resíduos poluentes, são resistentes e representaram uma opção vantajosa para a construção de moradias familiares a baixo custo, pois podem ser reduzidos consideravelmente (até 40 por cento) o custo por m² e os prazos de entrega são cortados pela metade.

Desta forma, o tijolo modular ecológico adquire grande relevância como produto alternativo na construção de habitações, pois apresenta não só características técnicas superiores, mas também pela eficiência do seu sistema, poupando tempo e recursos naturais, permitindo assim reduzir enormemente o carbono.

Perazzo (2013), definiu os tijolos ecológicos como unidades modulares que possuíam um melhor acabamento estético e maior resistência, eram compostas por materiais que não provocavam o corte de árvores, por não passar pelo processo de queima este elemento não emite gases na atmosfera que poderiam contribuir à poluição. A forma dos tijolos ecológicos permitiu que a

instalação dos serviços fosse simples e sem agredir a estrutura e o seu centro oco torna-a um elemento acústico e térmico.

3. Método

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado com a metodologia demonstrada a seguir. Os materiais usados nessa metodologia foram o cimento CP V-ARI, filito, areia e argila expandida laminada #2,5 mm.

3.1. Definição da composição dos tijolos ecológicos

Foram definidos dois tipos de tijolos:

- a) tijolo referencial que conta com cimento, filito e areia de 1:3:7, definido com base em Aguilar; Ruiz (2020) e Sahara (2020).
- b) Tijolo em que a argila substituiu a parte inteira da areia por 50% de argila expandida #2,5mm, obtendo assim um traço em volume de 1:3:3,5:3,5, em relação ao traço referencial.

A Tabela 1 apresenta os traços utilizados no trabalho.

Tabela 1 - Traços em volume dos tijolos

Traço	Cimento	Filito	Areia	Argila Expandida #2,55mm
Referencial	1	3	7	-
Com argila	1	3	3,5	3,5

Fonte: AS AUTORAS (2021)

As quantidades de tijolos para os ensaios de resistência à compressão e absorção de água foram definidas com base na ABNT NBR 8491 (2012). Enquanto para o ensaio de densidade a quantidade de tijolos moldados seguiu-se como base a metodologia de Kaczam; Santos (2016). Totalizando 32 tijolos ensaiados.

3.2. Caracterização físicas dos materiais

Os materiais cimento CP V-ARI, filito, areia e argila expandida laminada #2,5 mm foram caracterizados por meio dos seguintes ensaios:

3.2.1. Ensaio de massa unitária dos materiais

O ensaio foi realizado para todos os materiais utilizados para a produção dos tijolos ecológicos. Os procedimentos do ensaio foram realizados com base na ABNT NM 45 (2006). A massa unitária, é a relação de massa por volume, ocupado pelo material incluindo espaços de vazios. O cálculo é realizado conforme a Eq. (1).

$$\rho = \frac{M_t - M_{recipiente}}{V_{recipiente}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

ρ = massa específica aparente (g/cm³);

$M_{recipiente}$ = massa do recipiente vazio (g);

M_t = massa do recipiente vazio mais o material (g);

$V_{recipiente}$ = volume do recipiente (cm³).

3.2.2. Ensaio de massa específica real dos materiais

Este ensaio foi realizado para todos os materiais utilizados. Para o cimento e o filito os procedimentos foram seguidos conforme a norma ABNT NBR 16605 (2017) (Figura 1). Enquanto para a areia e a argila expandida laminada seguiu-se a norma ABNT NM 52 (2009) (Figura 2). A massa específica real é calculada conforme a Eq. (2).

$$\gamma = \frac{M}{(V_f - V_i)} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

γ = massa específica real (g/cm³);

V_f = volume final (cm³);

V_i = volume inicial (cm³);

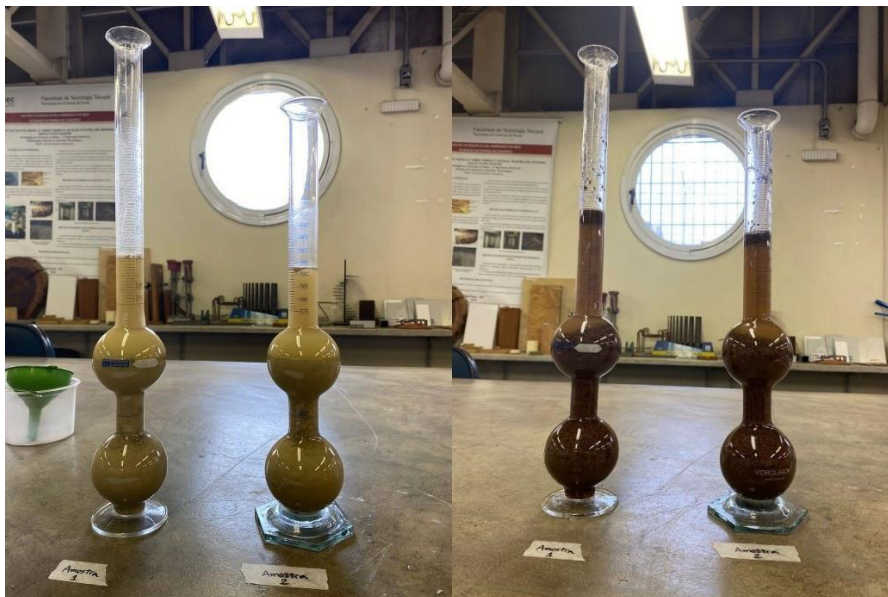
M = Massa do material(g).

Figura 1 - Frasco de LeChatelier usado na ABNT NBR 16605 (2017)



Fonte: AS AUTORAS (2021)

Figura 2 - Ensaio de massa específica real dos agregados



Fonte: AS AUTORAS (2021)

3.3. Moldagem dos tijolos ecológicos

A moldagem dos tijolos foi realizada em uma prensa hidráulica na empresa Jarfel/Sahara, de acordo com a norma ABNT NBR 10833 (2012) (Figura 3 e 4).

Foram produzidos 32 tijolos (16 tijolos para cada traço). A quantidade de amostras foi definida com base na ABNT NBR 8491 (2012) e Kaczam; Santos (2016), sendo 7 tijolos para o ensaio de resistência à compressão, 3 tijolos para o ensaio de absorção de água e 4 tijolos para o ensaio de densidade nas dimensões de 25 cm de comprimento, 12,5 cm de largura (Figura 5). Após o término da moldagem, iniciou-se o processo de cura dos tijolos por meio de uma lona plástica, por um período de 7 dias, conforme a ABNT NBR 10833 (2012) (Figura 6).

Figura 3 - Prensa hidráulica da marca Jarfel/Sahara



Fonte: AS AUTORAS (2021)

Figura 4 - Determinação da umidade da mistura de acordo com a ABNT NBR 10833 (2012)



Fonte: AS AUTORAS (2021)

Figura 5 - Tijolos ecológicos confeccionados com argila (à esquerda) e com o traço referencial (à direita)



Fonte: AS AUTORAS (2021)

Figura 6 - Início do processo de cura dos tijolos



Fonte: AS AUTORAS (2021)

3.4. Realização dos ensaios mecânicos e físicos dos tijolos

3.4.1. Ensaio de resistência à compressão simples

Este ensaio foi realizado nos dois traços de tijolos ecológicos, após os 7 dias de cura. Foram utilizados 14 tijolos, sendo sete do traço referencial e sete do traço com argila, conforme determina a ABNT NBR 8491 (2012).

De acordo com a ABNT NBR 8492 (2012) os tijolos foram cortados ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão e uniu-se as duas metades com uma fina camada de pasta de cimento Portland no traço de 1:0,5. Em seguida, as faces em contato com a máquina de compressão foram capeadas com uma pasta de cimento (Figura 7).

Após o endurecimento das pastas, os corpos de prova foram imersos em água por mínimo 6h (Figura 8). Passado esse tempo, retirou-se os corpos de prova e secou-se superficialmente com um pano. Ajustaram-se as duas placas metálicas na máquina (Figura 9) e estas foram posicionadas de modo com que os tijolos ficassem centrado em relação as mesmas e iniciou-se a compressão (Figura 10). De acordo com a ABNT NBR 8492 (2012), a carga deve ser gradativamente elevada até ocorrer a ruptura do corpo de prova.

A resistência à compressão simples foi calculada segundo a Eq.(3).

$$R_c = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

R_c = resistência à compressão simples (MPa);

F = carga máxima aplicada (N);

A = área de aplicação da carga (mm²).

Figura 7 - Capeamento das faces do tijolo ecológico



Fonte: AS AUTORAS (2021)

Figura 8 - Imersão dos tijolos ecológicos após o endurecimento da pasta de cimento



Fonte: AS AUTORAS (2021)

Figura 9 - Posicionamento das placas metálicas e do tijolo



Fonte: AS AUTORAS (2021)

Figura 10 - Rompimento do tijolo ecológico com argila expandida



Fonte: AS AUTORAS (2021)

3.4.2. Ensaio de absorção de água

Este ensaio foi realizado nos dois traços produzidos, passados os 7 dias de cura. Foram utilizados 6 tijolos, sendo três tijolos do traço referencial e três tijolos do traço com argila, conforme a ABNT NBR 8491 (2012). Os procedimentos do ensaio seguiram-se como base a ABNT NBR 8492 (2012) (Figura 11).

Para o cálculo da absorção de água por imersão, utiliza-se a Eq. (4).

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

A = absorção de água (%);

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado (g);

M_s = massa do corpo de prova seco em estufa (g).

Figura 11 – Imersão de 24h dos tijolos de acordo com a ABNT NBR 8492 (2012)



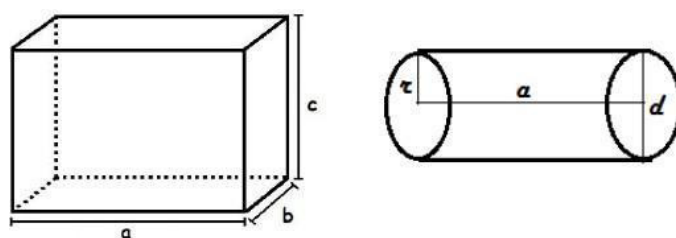
Fonte: AS AUTORAS (2021)

3.4.3. Ensaio de densidade dos tijolos ecológicos

Este ensaio foi realizado para os dois traços de tijolos ecológicos. Para esse ensaio, os corpos de prova são secos na estufa entre 105 °C a 110 °C, até que a massa do tijolo seja constante e não apresente umidade. Realizou-se a pesagem e medição de 8 tijolos, sendo quatro do traço referencial e quatro do traço com argila. A quantidade de tijolos e os procedimentos foram definidos de acordo com a metodologia de Kaczam; Santos (2016).

Coletou-se individualmente as massas e as metragens referentes às dimensões do comprimento (a), largura (b), altura (c) e diâmetro dos furos (d), de acordo com o esquema ilustrativo da Figura 12.

Figura 12 - Ilustração das medidas coletadas dos tijolos ecológicos



Fonte: KACZAM; SANTOS (2016)

Primeiramente o volume total dos tijolos ecológicos foi obtido por meio da Eq. (5).

$$V_{total\ tijolo\ maciço} = a \times b \times c \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:

$V_{total\ tijolo\ maciço}$ = volume total do tijolo maciço (m³);

a = comprimento do tijolo (m);

b = largura do tijolo (m);

c = altura do tijolo (m).

Em seguida, foi calculado o volume individual dos 2 furos (Eq. 6) e somou-se o volume dos dois furos existentes em cada tijolo ecológico (Eq.7).

$$V_{furo\ individual} = \pi \times r^2 \times h \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

$V_{furo\ individual}$ = volume do furo individual (m³);

r = raio do furo (m);

h = altura do tijolo (m).

$$V_{total\ dos\ furos} = V_{furo\ individual} \times 2\ furos \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde:

$V_{total\ dos\ furos}$ = volume total dos dois furos (m³);

$V_{furo\ individual}$ = volume do furo individual (m³);

Tendo o volume total dos dois furos foi subtraído esse valor do volume total do tijolo maciço, obtendo assim o volume real deles (Eq. 8).

$$V_{real\ do\ tijolo} = V_{total\ tijolo\ maciço} - V_{total\ dos\ furos} \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde:

$V_{real\ do\ tijolo}$ = volume real do tijolo ecológico (m³)

$V_{total\ tijolo\ maciço}$ = volume total do tijolo maciço (m³);

$V_{total\ dos\ furos}$ = volume total dos dois furos (m³).

Por fim a densidade foi calculada por meio da Eq. (9).

$$D = \frac{M}{V_{real\ do\ tijolo}} \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde:

D = densidade real do tijolo ecológico (kg/m³)

M = massa total do tijolo maciço (kg);

$V_{real\ do\ tijolo}$ = volume total dos dois furos (m³).

4. Resultados e Discussão

4.1. Caracterização física dos materiais

4.1.1. Ensaio de massa unitária dos materiais

A Tabela 2 apresenta as massas unitárias do cimento, filito, areia e argila expandida. Nota-se que os materiais em pó, o cimento e o filito, possuem massas unitárias próximas. Já em relação aos agregados, a areia é o agregado mais pesado comparado com a argila expandida #2,5 mm. Deve-se considerar que a argila expandida é composta por uma massa cerâmica porosa, o que deixa o material mais leve. De acordo com o fornecedor CINEXPAN (2021), a argila expandida da empresa possui massa unitária de 0,75 g/cm³.

Tabela 2 - Massa unitária dos materiais

	Massa Unitária (g/cm³)
Cimento	0,87
Filito	0,89
Areia	1,41
Argila Expandida #2,5mm	0,87

Fonte: AS AUTORAS (2021)

4.1.2. Ensaio de massa específica real dos materiais

A Tabela 3 apresenta as massas específicas reais dos materiais cimento, filito, areia e argila expandida. Nota-se que dentre esses quatro materiais o cimento expressa o maior valor. Determinar a massa específica dos materiais é importante para o estudo de substâncias homogêneas, visto que a massa específica real trata da razão entre a massa e o volume da matéria, excluindo os poros permeáveis.

Tabela 3 - Massa específica real dos materiais

	Massa Específica Real (g/cm³)
Cimento	3,07
Filito	2,78
Areia	2,60
Argila Expandida #2,5mm	1,70

Fonte: AS AUTORAS (2021)

4.2. Ensaio mecânicos e físicos

4.2.1. Ensaio de resistência à compressão simples

As Tabelas 4 e 5 mostram todos os resultados obtidos durante o ensaio de resistência à compressão simples, após 7 dias da produção dos tijolos.

Ambos os tijolos dos dois traços apresentaram resistência à compressão média e individual inferior ao estabelecido pela ABNT NBR 8491 (2012), mostrando serem resultados insatisfatórios. Embora não tenha atingido os parâmetros da norma nos 7 dias, os tijolos do traço com argila expandida apresentaram um valor de média superior ao dos tijolos do traço referencial.

Outro aspecto importante a salientar é que o fator determinante para uma melhor qualidade do tijolo depende da umidade de moldagem, tipo de prensa, tipo de estabilizante e o processo de cura. Para uma maior resistência à compressão, absorção e durabilidade do tijolo, deve-se utilizar um percentual maior de cimento na mistura (MOTTA; MORAIS; ROCHA, 2014).

Tabela 4 - Resistência à compressão simples do traço referencial

Idade	Tijolo - Traço Referencial	Área (mm ²)	Resistência (MPa)		Parâmetros NBR 8491 (2012)	
			Individual	Média	Individual	Média
7 dias	E1-T1-A1	16167	1,27	0,97	≥ 1,7 MPa	≥ 2,0 MPa
	E1-T1-A2	15963	1,05			
	E1-T1-A3	15888	0,97			
	E1-T1-A4	15813	1,04			
	E1-T1-A5	16238	0,94			
	E1-T1-A6	15610	0,84			
	E1-T1-A7	15938	0,67			

Fonte: AS AUTORAS (2021)

Tabela 5 - Resistência à compressão simples do traço com argila

Idade	Tijolo - Traço com Argila	Área (mm ²)	Resistência (MPa)		Parâmetros NBR 8491 (2012)	
			Individual	Média	Individual	Média
7 dias	E1-T2-A1	16384	0,90	1,12	≥ 1,7 MPa	≥ 2,0 MPa
	E1-T2-A2	15924	1,40			
	E1-T2-A3	16354	1,24			
	E1-T2-A4	16498	1,18			
	E1-T2-A5	15675	1,05			
	E1-T2-A6	16304	1,17			
	E1-T2-A7	16230	0,93			

Fonte: AS AUTORAS (2021)

4.2.2. Ensaio de absorção de água

As Tabelas 6 e 7, mostram os resultados obtidos a partir do ensaio de absorção de água referente aos dois tipos de tijolos produzidos.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, verifica-se que o tijolo do traço com argila expandida apresenta uma alta absorção de água em relação ao tijolo do traço referencial. Segundo Moncada et al. (2019), essa elevada absorção de água está relacionada à estrutura porosa dos seus grãos.

Ambos os tijolos dos dois traços apresentaram valores individuais e médios de absorção de água dentro dos parâmetros estabelecido pela ABNT NBR 8491 (2012).

Tabela 6 - Absorção de água do traço referencial

Idade	Tijolo - Traço Referencial	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção de Água (%)		Parâmetros NBR 8491 (2012)	
				Individual	Média	Individual	Média
7 dias	E2-T1-A1	2615,30	3026,30	15,72	15,96	≤ 22%	≤ 20%
	E2-T1-A2	2498,40	2904,50	16,25			
	E2-T1-A3	2517,30	2917,70	15,91			

Fonte: AS AUTORAS (2021)

Tabela 1 - Absorção de água do traço com argila expandida

Idade	Tijolo - Traço com Argila	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção de Água (%)		Parâmetros NBR 8491 (2012)	
				Individual	Média	Individual	Média
7 dias	E2-T2-A1	2271,70	2671,80	17,61	17,58	≤ 22%	≤ 20%
	E2-T2-A2	2358,80	2775,30	17,66			
	E2-T2-A3	2243,60	2635,50	17,47			

Fonte: AS AUTORAS (2021)

4.2.3. Ensaio de densidade dos tijolos ecológicos

As Tabelas 8 e 9 apresentam os resultados individuais e das médias de densidade dos dois tipos de tijolos estudados.

Tabela 2 - Densidade do tijolo ecológico do traço referencial

Tijolo - Traço Referencial	Massa (g)	Volume real (cm ³)	Densidade do tijolo (g/cm ³)	
			Individual	Média
E3-T1-A1	2590,40	1805,96	1,43	1,47
E3-T1-A2	2599,80	1789,21	1,45	
E3-T1-A3	2527,30	1608,30	1,57	
E3-T1-A4	2499,30	1770,20	1,41	

Fonte: AS AUTORAS (2021)

Tabela 3 - Densidade do tijolo ecológico do traço com argila expandida

Tijolo - Traço com Adição	Massa (g)	Volume real (cm ³)	Densidade do tijolo (g/cm ³)	
			Individual	Média
E3-T2-A1	2217,30	1638,17	1,35	1,32
E3-T2-A2	2235,50	1826,91	1,22	
E3-T2-A3	2234,70	1604,95	1,39	
E3-T2-A4	2391,00	1809,32	1,32	

Fonte: AS AUTORAS (2021)

Confeccionando o tijolo com argila expandida, nota-se que a densidade dele apresentou um valor menor que a do tijolo do traço referencial, pelo fato das massas serem inferiores comparado com o traço referencial que possui somente a areia na proporção. Como mostrado nos resultados de massa unitária dos materiais, a areia é mais pesada que a argila expandida.

Trazendo esses dados para uma construção, a carga atuante na estrutura terá uma redução significativa no peso próprio de estruturas, o que é acarretará na economia da obra, proporcionando uma diminuição da sapata e redução da bitola de aço.

5. Considerações finais

Como observado ao longo do trabalho os tijolos ecológicos são uma das principais ferramentas desenvolvidas pela visão sustentável aplicada dentro da rotina das construtoras, dando as mesmas uma oportunidade de trabalhar em suas rotinas com menor impacto dentro do meio ambiente.

A utilização de menor percentual de material inorgânico em substituição à areia, resultou em aumento da resistência à compressão, porém maior densidade na argamassa de cimento, o que afetaria a carga morta de uma estrutura, comprovando que quanto maior a densidade melhores propriedades de resistência.

Ainda que os resultados não tenham sido satisfatórios, os tijolos com adição da argila expandida ficaram mais leves comparado com o tijolo de traço referencial. Também, apresentou um índice de absorção de água maior.

Sendo assim, é indicada a realização dos ensaios com o tempo de cura maior (14 e 28 dias) para tentar obter resultados satisfatórios e que atendem a os requisitos solicitados pela norma e também realizar testes aumentando o

consumo de cimento do traço. E dessa maneira, se for viável implantar essa possibilidade de tijolos na construção civil.

Agradecimentos

À empresa Jarfel/Sahara por disponibilizar os equipamentos e o local para a produção dos tijolos ecológicos. À toda equipe da Fatec-Tatuapé, pelo apoio e atenção para o desenvolvimento do trabalho.

Referências

- AGUILAR, F; RUIZ, L. Tijolo Ecológico de Pó de Pedra ou Areia com Filito. Disponível em: <<https://www.jarfel.com.br/informativos/tijolos-ecologico-filito.php>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8491: Tijolo de solo-cimento – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 5p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8492: Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012. 4p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017. 4p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 52: Agregados miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009. 6p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012. 3p

- CEOTTO, L. H. Avaliação de sustentabilidade: balanço e perspectivas no Brasil. In: I Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável – SBCS 08, São Paulo, 2018.
- CINEXPAN. Ficha Técnica da Argila Expandida – Referência Laminado de 2,5mm. Disponível em <<https://www.cinexpan.com.br/argila-expandida-lam-cinexpan.html>> . Acesso em: 15 de novembro de 2021.
- CORRÊA, L. R. Sustentabilidade na construção civil. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, UFMG, 2019.
- COUTO, A. B.; COUTO, J. P.; TEIXEIRA, J. C. Desconstrução: uma ferramenta para a sustentabilidade da construção. Anais do VI Seminário Brasileiro da Gestão do Processo de Projecto na Construção de Edifícios - NUTAU, São Paulo, 2016.
- DOBÓN, B. *MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO RECICLADOS E REUTILIZADOS PARA A ARQUITETURA SUSTENTÁVEL [Tese de pós-graduação]*. Valência: Universidade Politécnica de Valência. 2019.
- KACZAM, F; SANTOS, R. V. Comparação da densidade de blocos cerâmicos fabricados em cinco fornos de uma indústria. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC, 2016, Foz do Iguaçu. Anais... 5p.
- LIEBSCH, Adilson. Sustentabilidade na Construção Civil: aplicações em obras populares. Ambar, 31 de julho de 2019. Disponível em:< <https://ambar.tech/2019/07/31/sustentabilidade-na-construcao-civil-aplicacoes-em-obras-populares/>>. Acesso em: 25 de outubro de 2021.
- MARTINEZ, F., & GONZÁLEZ, M. *PEGADA ECOLÓGICA DE CIMENTO: Cálculo da pegada ecológica de uma indústria cimenteira e proposta de medidas de engenharia sustentáveis*. Coruña, Espanha: Laboratório de Engenharia Sustentável. 2010.

- MONCADA, J. E. C. M; FLOR, L. D. S; SILVA, V. A; PACHECO, J. S. Estudo da adição de argila expandida e EPS como agregados na elaboração de concreto leve. Revista Teccen. 2019 Jan/Jun; 12 (1): 02-07.
 - MOTTA, C. J.; MORAIS W.P.; ROCHA, N.G. Tijolo de Solo Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. Belo Horizonte: Exata, 2014. 13-26 p.
 - PERAZZO, Normando Barbosa. Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. Coletânea Habitare ANTAC, Porto Alegre, 2013, 480 p. Ilustrado ISBN 85-89478-02- 5.
 - PINHEIRO, M. D. Ambiente e Construção Sustentável. Instituto do Ambiente. Lisboa. 2016.
 - REVISTA ECOLÓGICO: Tijolos ecológicos: bons e corretos, Belo Horizonte, dez. 2013.
 - ROMÃO, É, A. Análise do desempenho térmico em tijolo ecológico confeccionado com uso de argila expandida. 2020. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Unidade Delmiro Gouveia-Campus do Sertão, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2019.
- SAHARA, Jarfel. Conhecendo o Tijolo Ecológico de Filito – Jarfel Sahara. Youtube, 25 de julho de 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=exxb7arOSDs>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.
- TÉCHNE: A revista do Engenheiro Civil. Alvenaria de solo-cimento, São Paulo, n. 85, abr. 2014.
 - WIECZYNSKI, V. J. Construções mais sustentáveis: alternativas para uma habitação de baixo custo econômico. 2015