



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
UNIPAC BARBACENA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**HELOÍSA VICTÓRIA REIS SANTANA
RAÍSSA NASCIMENTO CABRAL**

**ESTUDO COMPARATIVO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS COM TIJOLOS
ECOLÓGICOS E CERÂMICOS CONVENCIONAIS**

**BARBACENA
2021**

**HELOÍSA VICTÓRIA REIS SANTANA
RAÍSSA NASCIMENTO CABRAL**

**ESTUDO COMPARATIVO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS COM TIJOLOS
ECOLÓGICOS E CERÂMICOS CONVENCIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos - UNIPAC, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dra. Suymara Toledo Miranda

**BARBACENA
2021**

**Heloísa Victória Reis Santana
Raíssa Nascimento Cabral**

**ESTUDO COMPARATIVO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS COM TIJOLOS
ECOLÓGICOS E CERÂMICOS CONVENCIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil o
Centro Universitário Presidente Antônio
Carlos - UNIPAC, como requisito parcial para
o título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Deysiane Antunes Barroso Damasceno
Centro Universitário Presidente Antônio Carlos - UNIPAC

Prof. Fernando Henrique Fagundes Gomes
Centro Universitário Presidente Antônio Carlos - UNIPAC

Prof^a. Tairine Cristine Bertola Cruz
Centro Universitário Presidente Antônio Carlos – UNIPAC

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos amigos, professores que sempre lecionaram e ministraram o seu conhecimento com muito profissionalismo, à nossa família por todo apoio durante a concepção deste trabalho.

Agradecemos à nossa orientadora Prof^a. Dra. Suymara Toledo Miranda, pelo apoio, disponibilidade e a boa vontade.

Agradecemos ao Prof. Me. Elvys Dias Reis, pela paciência, dedicação, amizade, por todo apoio, por sempre nos incentivar e acreditar que seríamos capazes.

Agradecemos à empresa Minas Eco, pela oportunidade e pelo material cedido.

RESUMO

O setor da construção civil é responsável por grandes impactos ambientais, portanto, estudos voltados para a sustentabilidade buscando novas formas construtivas com baixo impacto ambiental vêm ganhando espaço. O tijolo ecológico utiliza solo em grande parte da sua composição e, assim, desponta como uma alternativa sustentável e também como uma forma de tornar as moradias mais acessíveis, já que é produzido por meio de uma técnica construtiva simplificada, gerando menor valor econômico e rapidez no processo construtivo. Dentro deste contexto, com o objetivo de realizar um comparativo entre a alvenaria convencional e alvenaria ecológica, foi feita uma revisão bibliográfica acerca do tema e a elaboração de um projeto arquitetônico, em que os gastos referentes à construção foram estimados e comparados, demonstrando que a utilização do tijolo ecológico é economicamente viável. Também foram realizados ensaios de resistência à compressão e absorção com os tijolos ecológicos, e seus resultados atenderam os requisitos normativos, sendo superiores aos do tijolo convencional. Entendido todo este processo, foram realizados cálculos e estudos no decorrer do trabalho, destacando a economia do tijolo ecológico em relação ao cerâmico. Além de todos os benefícios para o meio ambiente, os resultados mostraram uma economia de 31% em relação ao convencional.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Tijolos ecológicos. Tijolos cerâmicos convencionais. Construção civil. Habitações populares.

ABSTRACT

The construction sector is responsible for large environmental impacts, therefore, studies aimed at sustainability seeking new construction forms with low environmental impact have been gaining space. The ecological brick uses soil in a large part of its composition and, thus, emerges as a sustainable alternative and also as a way to make housing more affordable, since it is produced through a simplified construction technique, generating less economic value and speed in the constructive process. Within this context, to compare conventional and ecological masonry, a literature review was carried out concerning this subject and an architectural project was elaborated, in which the costs of construction were estimated and compared, showing that the use of ecological bricks is economically viable. Tests of compressive strength and absorption were also performed with the ecological bricks, and their results met the normative requirements, being higher than those of conventional bricks. Understood all this process, calculations and studies were made during the work, highlighting the economy of the ecological brick concerning the ceramic one. Besides all the benefits to the environment, the results showed an economy of 31% compared to the conventional one.

Keywords: Sustainability. Ecological bricks. Conventional ceramic bricks. Civil construction. Popular housing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	DESENVOLVIMENTO	9
2.1	Revisão bibliográfica	9
2.1.1	<i>Tijolo cerâmico</i>	9
2.1.2	<i>Solo</i>.....	9
2.1.3	<i>Tijolo ecológico</i>	11
2.1.4	<i>Projeto e processo construtivo com tijolo ecológico</i>	15
2.2	Fabricação de tijolos ecológicos	17
2.3	Programa experimental.....	21
2.4	Resultados e discussões.....	22
2.5	Dimensionamento e comparativo de custos	27
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

As questões ambientais ganham cada vez mais espaço na sociedade, sendo que grandes debates mostram a importância e a necessidade de adequações que podem e devem ser feitas visando a preservação ambiental. Sendo a construção civil umas das principais responsáveis por impactos ambientais quando comparada com outras atividades, como o agronegócio, a busca por soluções alternativas que não sejam prejudiciais ao meio ambiente vêm ganhando visibilidade. Assim, ao longo das últimas décadas surgiram novas tecnologias neste ramo com o intuito de minimizar tais efeitos, dentre elas o tijolo ecológico, uma alternativa sustentável e inovadora, com um processo de fabricação mais limpo e uma composição que apresenta pequena quantidade de cimento. Além dos fatores ambientais, Lima Júnior *et al.* (2003) destacam que a população dos países em desenvolvimento enfrenta grandes problemas relacionados à falta de habitações dignas, que são relacionados aos elevados preços dos materiais de construção. Assim, surgem buscas por materiais com custos menores, que tornem as edificações mais acessíveis à população.

Nesse contexto, entende-se que os tijolos ecológicos visam a sustentabilidade, mas também surgem como alternativa de moradia para as classes menos favorecidas. A rapidez na execução e a economia em algumas etapas do processo construtivo são os principais atrativos desse material, já que podem fornecer qualidade semelhante por um custo inferior. De acordo com Sala (2006), o tijolo ecológico é uma mistura de solo e cimento, com processo de fabricação simples e sustentável, já que não ocorre queima e emissão de gases tóxicos no ambiente que poluem o ar. Sendo o solo presente em maior proporção nessa mistura, é possível evitar o desperdício de outros materiais, uma vez que ele é encontrado em abundância na natureza e permite um consumo menor de cimento.

Blücher (1951 *apud* Grande, 2003, p. 28) ressalta alguns dos principais fatores que afetam a qualidade do tijolo: “o tipo de solo, o teor de cimento, teor de umidade, o método de mistura e a compactação.” Pode-se destacar também a importância da escolha do tipo de prensa utilizada, que tem grande impacto no produto final. Dessa forma, o controle da dosagem e da escolha dos materiais, deve ser feito de forma rigorosa para se confeccionar um bom produto, com propriedades mecânicas compatíveis com a sua finalidade de uso.

Pisani (2007), enfatiza sobre não existir métodos construtivos que não acarretem em consequências ambientais negativas, porém a procura é por opções que gerem em menor proporção. A terra, material de maior consumo na fabricação do tijolo ecológico, é uma aposta no que diz respeito a superar o desgaste ambiental causado pelo tijolo cerâmico, e que também possui características que conferem ao produto final conforto acústico e térmico.

Diante do que foi exposto e considerando a importância da construção sustentável nos dias atuais, esta pesquisa se justifica pela necessidade de se buscar medidas que, além de contribuírem para o meio ambiente, não afetem a produtividade e a qualidade dos serviços já oferecidos. Nesse cenário, o tijolo ecológico supre tais necessidades e ainda pode apresentar resultados melhores e até mais eficientes quando comparados com a alvenaria convencional, tornando-se economicamente mais viável. Além disso, com o maior desenvolvimento de estudos elaborados nesta área, também é possível relacionar a sustentabilidade à melhoria de problemas sociais, como *déficit* habitacional, já que, com um custo-benefício melhor, as moradias se tornam mais acessíveis a boa parte da população.

Portanto, esse trabalho visa realizar um estudo comparativo das propriedades mecânicas e dos custos de uma edificação executada com tijolos ecológicos e outra similar, executada com alvenaria de tijolos cerâmicos convencionais, abordando um projeto que se enquadra nas diretrizes do programa de construção de casas de baixo custo. Para isso, fez-se uma breve revisão bibliográfica sobre o tema e sobre o processo de fabricação destes tijolos com base em uma visita técnica realizada na Fábrica Minas Eco, localizada em Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais, além de ensaios laboratoriais das propriedades mecânicas de resistência à compressão e absorção de água, com o intuito de comparar os resultados com os valores de tijolos cerâmicos convencionais.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

2.1.1 Tijolo cerâmico

O tijolo cerâmico é um material muito utilizado na construção civil, já que constitui as alvenarias das edificações, e tem como principal função a vedação da estrutura. Entretanto, como a grande parte dos materiais, ele acarreta impactos ao meio ambiente.

Massei e Montysuma (2015) destacam que o processo de extração de matéria prima, a argila, às margens de rios para a produção do tijolo cerâmico causa danos irreparáveis ao meio ambiente, já que, além de alterar a paisagem, altera o ecossistema ao seu redor e causa um aumento no desmatamento, para produção de combustíveis utilizados nos fornos de fabricação.

Os impactos causados pela produção do tijolo cerâmico são resumidos por Torgal *et al.* (2010) da seguinte maneira: consumo de recursos não renováveis, energia e água, além da emissão de gases tóxicos e produção de resíduos. Corteze *et al.* (2020) destacam também que a necessidade de se quebrar os tijolos cerâmicos para a passagem de instalações hidráulicas e elétricas contribui para a produção de mais entulhos e conseqüentemente traz mais danos ao ambiente.

Assim, surge a necessidade de se obter materiais capazes de substituir os já existentes, optando por soluções sustentáveis e almejando a otimização das obras, sendo tais soluções capazes de assegurar a qualidade no processo construtivo, com resultados positivos em relação à composição de custos e qualidade da edificação.

2.1.2 Solo

Registros feitos com o passar dos anos apontam a existência de inúmeras construções feitas apenas com solo, já que é um material barato, de fácil acesso e manuseio, e é encontrado em abundância na natureza, além de ser eficiente para diversas aplicações (GRANDE, 2003). Destaca-se a eficiência de sua utilização, já que até os dias atuais existem edificações que foram construídas com materiais derivados do solo e ainda têm sua estabilidade mantida.

Considerando a questão que envolve as premissas de buscas por soluções alternativas e inovadoras no que diz respeito ao campo de atuação da construção civil, o solo desponta como um material apropriado nas mais variadas utilizações. Pinto (2015) evidencia que, além da viabilidade econômica, há uma grande procura por parte de grupos ligados às questões referentes ao meio ambiente.

De acordo com Nascimento (2018), o solo pode ser utilizado como material direto ou indireto, substituindo materiais já existentes e proporcionando uma redução de custos significativa, pois, além de toda a referência à questão ambiental e sustentável, o seu uso está atrelado às buscas por opções que minimizem os efeitos causados ao ambiente, principalmente no campo da construção civil.

Atualmente, com os avanços tecnológicos, surgiram maneiras que melhoraram a resistência e a eficiência da utilização do solo nas construções, como os tijolos ecológicos, que fazem a combinação do solo com o cimento, produzindo um material com qualidades estruturais melhores e possibilitando ainda uma estética melhor à edificação. No processo de fabricação do tijolo ecológico, a seleção do solo ideal é um dos principais e mais importantes passos, já que a escolha errada pode tornar o tijolo menos resistente e até mesmo afetar no seu acabamento, já que nem todos os solos são adequados e, assim, podem afetar o produto final.

Para Euphrosino e Fontanni (2021), a granulometria está diretamente ligada aos resultados finais do tijolo, mas não só ela como também o tipo de solo e a mineralogia. Considerando os fatores para um bom produto final, recomenda-se que quanto maior for o teor de areia na mistura, melhor será a resistência à compressão, entretanto é fundamental a presença de argila, uma vez que ela é responsável por garantir a coesão da massa, contribuindo para a modelagem do tijolo.

De acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2012a), o solo utilizado para a fabricação dos tijolos deve possuir as seguintes características:

- a) 100% do solo deve passar na peneira 4,8 mm;
- b) 10 a 50% deve passar na peneira 0,075 μ m;
- c) Limite de liquidez $\leq 45\%$;
- d) Índice de plasticidade $\leq 18\%$.

O controle da granulometria se faz necessário, para que existam partículas pequenas, que quando incorporadas à mistura preenchem os espaços vazios, dando solidez à estrutura. Assim, a mistura deve ter baixa porosidade depois de compactada, sendo a argila quando umedecida, a responsável pela coesão necessária para tornar

a matéria única. Além disso, recomenda-se que solos contendo matéria orgânica sejam evitados, já que pode afetar a hidratação do cimento, por isso a importância do processo de peneiramento.

Segundo Souza *et al.* (2008), a umidade ótima é um fator de extrema relevância em pesquisas relacionadas ao solo, já que proporciona uma melhora na trabalhabilidade e máxima compactação do material, e conseqüentemente, valores superiores de densidade, resistência e maior durabilidade. Assim determina-se o limite de liquidez e índice de plasticidade, para que o solo seja moldável e com boa trabalhabilidade, mas que ao mesmo tempo, não afetem seu comportamento e suas propriedades mecânicas, como a resistência.

2.1.3 Tijolo ecológico

O contexto que abrange a sustentabilidade é um dos assuntos mais discutidos e comentados na atualidade, estando seu conceito presente nas inúmeras áreas econômicas e sociais e dentro das organizações. Na construção civil, as ações que buscam minimizar os efeitos nocivos ao meio ambiente surgem como uma solução sustentável, atrelada a oportunidades de negócios e inovações.

No que contempla as questões referentes à degradação ambiental, a construção civil tem destaque negativo e trabalha duas vertentes opostas, já que ao mesmo tempo que é considerado um setor responsável pelo desenvolvimento econômico, assume também um papel expressivo nos problemas ambientais. Botinas (2017) traz enfoque a essas constatações, uma vez que a construção civil é um dos principais responsáveis pelos elevados níveis de CO₂ emitidos no processo da fabricação dos materiais e, após a construção, com a produção de resíduos elevada, sem a correta gestão.

Sobre os impactos causados pela construção, Lima (2016) afirma que eles são gerados direta ou indiretamente, podendo ser pelas atividades desenvolvidas, consumo, extração e até mesmo os desperdícios causados pelo mau uso do material. Considerando toda a abrangência da devastação causada, é essencial e fundamental o desenvolvimento da responsabilidade ambiental no ramo da construção civil.

Na busca pela redução dos impactos causados pela emissão de gases poluentes, o tijolo ecológico desponta como uma grande solução e promessa construtiva. Fiéis e Souza (2017) enfatizam a nomenclatura dos tijolos. Segundo os

autores, eles são assim chamados pois não há necessidade da queima no seu processo de fabricação, eliminando também o corte de árvores. Entretanto, destaca-se que existe a queima no processo de fabricação do cimento Portland que é incorporado na mistura, e, portanto, ainda assim, existem prejuízos para o meio ambiente.

Santana Filho *et al.* (2018) ressaltam a importância do tijolo ecológico para o ecossistema, pois seu processo de fabricação mais limpo e a utilização de matéria prima sustentável são fatores que contribuem para o meio ambiente. Resultados de estudos mostram que a utilização de resíduos gerados pela construção civil e até mesmo outras matérias-primas origina um produto bom e eficaz, além de minimizar o uso de recursos naturais, tornando assim o tijolo um destaque em relação à sustentabilidade (WEBER *et al.*, 2017). A possibilidade de reutilizar o tijolo caso ele quebre, já que ele pode ser reintegrado a mistura, também é um fator que contribui para a diminuição da geração de entulhos na construção civil.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 1986) define o solo-cimento como produto derivado da mistura de solo, cimento e água, que deve ser proporcionada de acordo com as especificações, para que se adquira resistência e durabilidade. Os tijolos são utilizados na maioria das vezes para a execução de paredes, mas Ferreira e Moreno Júnior (2011, p. 238) citam outras formas de utilização, “em muros, contenções, fundações, passeios, contra pisos, coberturas abobadadas e em lajes mistas”. Em conformidade com estes autores, eles possuem tamanhos variados e modelos que são escolhidos de acordo com cada utilização.

A respeito da quantidade de tijolos gastos para uma construção e o entulho gerado pela mesma, Santana *et al.* (2013) desenvolveram em seus estudos um levantamento onde usou para exemplificação uma edificação de 60 m², estimando 1500 unidades de tijolos cerâmicos convencionais e 3420 ecológicos. Segundo Santos e Chaves Júnior (2018), para fabricação de uma unidade de tijolo ecológico são produzidos $3,75 \times 10^{-5}$ m³ de resíduos, já para a produção de um tijolo cerâmico são gerados $5,5 \times 10^{-5}$ m³.

Santana *et al.* (2013) destacam também a reutilização do que é considerado como sobra da construção, que pode ser incorporada novamente no processo de fabricação. Com isso, 100 tijolos ecológicos equivalem a 2,5 m³ de material já descartado e que pode ser reutilizado.

Dentro deste contexto, sabe-se que o crescimento populacional contribui para um grande aumento do déficit habitacional, atingindo valores de até seis milhões de moradias, segundo dados da Fundação João Pinheiro (FJP, 2016). Portanto, cada vez mais é necessária a busca e o estudo de materiais com baixo consumo de energia, boa duração e que sejam ecológicos, além de atenderem às exigências relacionadas à infraestrutura, tornando-se, dessa forma, o grande desafio do século XXI nos países em desenvolvimento (ANJOS *et al.*, 2003).

Assim, o tijolo solo-cimento engloba também o propósito de sanar a necessidade e a busca por materiais que sejam mais acessíveis à população, surgindo como uma solução para a melhora do déficit habitacional. Segundo Colares (2017), outra evidência positiva das novas técnicas são os melhores desempenhos, se comparados as técnicas construtivas tradicionais, através da maximização dos lucros e da redução do trabalho.

Neste contexto, também é necessário pontuar sobre suas características positivas e negativas. Como vantagens, Motta (2014) cita o processo de fabricação simplificado, podendo assim abranger a parcela de população que não tem muitos recursos, além de ser um material fabricado com insumo de grande abundância e a não emissão de gases poluentes no processo de fabricação. Segundo o autor, tem-se também como vantagens dos tijolos ecológicos:

- a) o tijolo pode ficar à vista, não sendo necessário reboco e pintura;
- b) as tubulações podem ser instaladas durante a execução da parede, já que os tijolos apresentam furos que possibilitam a passagem;
- c) não são necessárias fôrmas para a concretagem;
- d) isolamento térmico e acústico;
- e) menor peso que os convencionais, diminuindo dimensionamento de outras partes da estrutura;
- f) fácil acabamento final;
- g) não é necessária mão de obra especializada para fabricação.

Como desvantagens, Motta (2014) aponta o processo de retirada do solo, que, quando feito sem o devido cumprimento dos padrões ambientais exigidos, favorece o surgimento de processos erosivos, e também a dosagem, que se feita de forma

equivocada pode resultar em patologias na construção. Além destas, pode-se citar as seguintes desvantagens:

- a) falta de padronização na fabricação;
- b) variação na composição do solo, afetando a qualidade final do produto;
- c) restrições para remoção de paredes;
- d) dificuldade em mudanças nas instalações hidráulicas e elétricas;
- e) necessária mão de obra especializada para execução da edificação.

A Associação Brasileira de Cimento Portland salienta o tijolo de solo-cimento como uma alternativa para as construções, enfatizando a garantia de sua resistência à compressão simples, portanto, quando produzido seguindo as recomendações normativas, terá qualidade sem aumento no custo de fabricação.

Corteze *et al.* (2020, p. 94711), destacam que o tijolo ecológico “após um pequeno período de cura, garante resistência à compressão simples similar à dos blocos cerâmicos e tijolos maciços”. Sampaio e Nunes (2015) também ressaltam que a distribuição das colunas ao longo dos furos evita a concentração de peso, já que ele é distribuído nas paredes, tornando a alvenaria estrutural mais segura.

Santana *et al.* (2013) enfatizam o período de cura, durante o qual os tijolos precisam ser umedecidos para que a umidade ótima seja atingida e mantida, compensando a água que é perdida no processo de evaporação. Desta forma, o cimento adicionado à mistura consegue o ambiente propício para que ocorram as reações químicas, garantido a resistência final dos tijolos.

Assim, quando fabricado com as técnicas e determinações corretas, o tijolo ecológico se torna um destaque na construção civil sustentável. Portanto, é notória a necessidade de estudos que façam essa comparação entre os sistemas construtivos, pois com os parâmetros adequados é possível analisar a melhor escolha para a utilização de cada tipo de tijolo. Como todos os elementos da construção, o tijolo ecológico possui vantagens e desvantagens, como as que foram supramencionadas, que também devem ser levadas em conta no momento da escolha.

2.1.4 Projeto e processo construtivo com tijolo ecológico

Conforme mencionado anteriormente é assegurado pela comunidade científica, a necessidade de novos materiais construtivos é imensa, e o tijolo ecológico é capaz de garantir, além da resistência necessária, a economia, que é crucial para aumentar o seu emprego no mercado da construção civil. Além destes fatores, ele é menos nocivo ao meio ambiente e, portanto, melhor para sua preservação.

O interesse pelo solo-cimento na função de alvenaria teve sua aplicação fomentada, segundo Mieli (2009), pelo extinto Banco Nacional de Habitação (BNH), em 1978. Amparado por centros de pesquisas e de desenvolvimento, os responsáveis avaliaram e comprovaram o bom desempenho da técnica e a possibilidade da redução de custos, sendo aprovada para moradias populares.

Após este marco, novas técnicas vêm sendo empregadas. Com os recursos tecnológicos disponíveis, atualmente há uma vasta gama de utilização, não se limitando somente a obras populares, já que além de suas vantagens, o tijolo ecológico tem uma aparência agradável, muito buscada por arquitetos.

Escolhido este material, o projeto é feito considerando o comprimento do tijolo, moldando a arquitetura, para que não seja necessário cortes demasiados, agilizando assim o processo construtivo e reduzindo o acúmulo de resíduos vindos da construção.

Lima (2016) descreve sobre o assentamento dos tijolos e destaca que sua montagem é feita por intermédio de seus encaixes, assim como representado na FIG. 1. Dessa forma, utiliza-se uma quantidade menor de material, tornando assim o peso final da alvenaria um valor não tão elevado.

Figura 1 – Assentamento dos tijolos ecológicos



Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

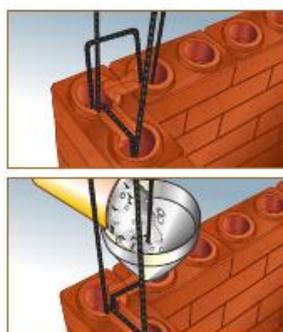
Ainda considerando a agilidade envolvida na constituição da obra, os condutos elétricos e hidráulicos são instalados através dos furos presentes nos tijolos, o que

acarreta em um aumento de produtividade, não sendo necessária a quebra de paredes.

Para impedir que a umidade vinda da fundação percole e se torne uma preocupação pela sua facilidade de penetração no tijolo, a impermeabilização da fundação deve ser feita, bem como na primeira fiada de assentamento, como é destacado por Fiais e Souza (2017). Os autores apontam para a necessidade deste cuidado preventivo, uma vez que o tijolo saturado perde resistência.

Quando há o encontro de paredes, utilizam-se grampos de amarração, como mostrado na FIG. 2, que também devem ser acrescentados a cada 0,50 m de parede construída, que serão posteriormente preenchidos com graute, uma mistura de cimento, água e brita. Destaca-se também a importância de manter molhados os tijolos que receberão este enchimento, evitando assim o aparecimento de futuras trincas.

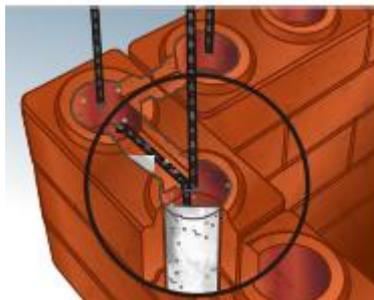
Figura 2 – Interligação de colunas



Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

Ao desenvolver e buscar estudos pertinentes que envolvem o tijolo ecológico, são nítidas as suas vantagens, como demonstrado nos tópicos anteriores deste trabalho. França e Simões (2018) enfatizam o benefício estrutural, uma vez que seus pilares são feitos com o preenchimento das colunas de sustentação, assim como representado na FIG. 3 demarcadas previamente pelo projeto estrutural. A distribuição de colunas a cada 1 metro torna o sistema construtivo mais seguro e resistente, já que existem vários pontos de sustentação para a distribuição do peso da edificação. Em outras palavras, a distribuição das colunas é feita de maneira uniforme, portanto, o peso próprio dos elementos superiores consegue ser distribuído por toda a extensão da construção uniformemente, não ficando sobrecarregado.

Figura 3 – Preenchimento das colunas



Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

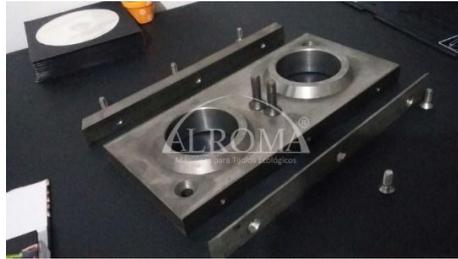
Já para as vigas, vergas e contravergas, é utilizado o tijolo canaleta preenchido com concreto que deve cobrir as ferragens também usadas para esta amarração.

2.2 Fabricação de tijolos ecológicos

Visando atender aos objetivos deste estudo, foi realizada uma visita à fábrica de tijolos Minas Eco, na cidade de Conselheiro Lafaiete, em Minas Gerais, onde se acompanhou todo o processo de fabricação, que segue os requisitos da norma brasileira NBR 8491 (ABNT, 2012b).

Inicialmente o solo chega à fábrica, onde é realizada a mistura de 70% de solo arenoso e 30% argiloso, com o objetivo de se obter resistência e ser também moldável, depois é adicionado a ele uma pequena parcela de cimento, respeitando o traço de 7:1, ou seja, a cada sete medidas de solo, são acrescentados uma de cimento. Destaca-se que é imprescindível que a extração na jazida esteja de acordo com a legislação ambiental. Após a mistura, os materiais são transportados por uma pequena correia transportadora até um equipamento misturador, e será acrescentada água, cuja quantidade varia com a umidade que o solo se encontra. Então, é feito o “teste de mão” e o material é colocado na fôrma, como representada na FIG. 4 e prensado por uma carga de 12 toneladas.

Figura 4 – Matriz tijolo ecológico



Fonte: Alroma (2020).

Para o teste de mão, uma fração da mistura que será compactada, é comprimida com a mão, e como resultado para uma boa condição é esperado que ela deixe de forma nítida as marcas dos dedos, e após esse processo, ela é jogada de uma altura aproximadas de 1 metro, e para que seja uma mistura ótima, ela deverá se esfarelar ou se partir em vários pedaços.

Finalmente, os tijolos são estocados em *pallets*, onde ficam em processo de cura, cobertos por uma lona durante 7 dias, como mostra na FIG. 5, a fim de se evitar a perda de água, e conseqüentemente alterações na resistência do material, após esse período a lona é retirada e eles permanecem em cura até completar seus 28 dias. Seu peso inicial quando úmido é de aproximadamente 3,273 kg e, após a cura, 3 kg. Assim, pode ser feito o encaminhamento para a construção. Na FIG. 6, pode-se observar um tijolo ecológico produzido pela fábrica Minas Eco.

Figura 5 – Tijolos no processo de cura



Fonte: as autoras (2021).

Figura 6 – Tijolo ecológico produzido na Minas Eco



Fonte: as autoras (2021).

Considerando a existência de diversos tipos de equipamentos disponíveis no mercado, é importante destacar que a prensa utilizada pela Minas Eco é automática, da marca Alroma (FIG. 7 e 8), que possibilita a geração e o acesso aos dados e parâmetros de fabricação em tempo real.

Figura 7 – Prensa automática usada na Minas Eco



Fonte: as autoras (2021).

Figura 8 – Prensa automática usada na Minas Eco



Fonte: as autoras (2021).

Conhecendo as técnicas empregadas no processo de fabricação, pode-se dizer que se trata de uma solução viável, que está de acordo com as normas e padrões de proteção ambiental, uma vez que permite o desenvolvimento de um padrão construtivo considerando as premissas econômicas e sustentáveis.

De acordo com o responsável pela visita, os tijolos apresentam ótimos resultados aos testes obrigatórios da norma NBR 8492 (ABNT, 2012c), que determina os métodos de ensaio de resistência à compressão e absorção de água, e, quando comparados aos valores dos tijolos convencionais da região, apresentam uma economia de até 30% no valor total da obra. A título de exemplo, a FIG. 9 foi disponibilizada pela fábrica e mostra uma casa construída com os tijolos solo-cimento.

Figura 9 – Casa de solo-cimento construída com tijolos fabricados pela Minas Eco



Fonte: Minas Eco (2019).

2.3 Programa experimental

Foram realizados ensaios de resistência à compressão simples e de absorção de água, no Laboratório de Análise Experimental de Estruturas (LAEEs) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com base na norma NBR 8492 (ABNT, 2012c), a fim de realizar uma análise técnica dos resultados e compará-los com dados do tijolo convencional.

A norma NBR 8492 (ABNT, 2012c) determina que sejam confeccionados sete corpos de prova para o ensaio de compressão, e cada um deles deve ser seccionado ao meio, paralelo à menor direção, e sobrepostos com uma camada de pasta de cimento Portland de no máximo 3 mm. Após o endurecimento, os tijolos devem ser submersos em água e, decorridas seis horas, retirados e enxugados superficialmente em no máximo três minutos. Então, devem ser centralizados na máquina de ensaio (prensa hidráulica) para a aplicação uniforme de uma carga de 500 N/s, que é elevada gradualmente até a ruptura. Os valores de resistência à compressão (f_c) são obtidos a partir da Equação 1, na qual F é a carga de ruptura, expressa em Newtons (N), e S é a área de aplicação sem descontar os furos, como estabelecido pela norma, em mm^2 .

$$f_c = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Já no ensaio de absorção de água, a NBR recomenda o uso de três tijolos, que devem ser secos em estufa até atingir a temperatura de 105 a 110 °C, obtendo, portanto, a massa do corpo de prova seco (m_1). Logo após, deve ser imergido em um tanque por 24 horas, sendo que esta ação só deve ser realizada quando o corpo de prova atingir novamente a temperatura ambiente. Decorrido este tempo, o tijolo é retirado da água, removendo-se o excesso de água superficial e prosseguindo-se para sua pesagem, encontrando-se a massa úmida do corpo de prova (m_2). Assim, pode-se obter os valores individuais de absorção de água (A) por meio da Equação 2 (ABNT, 2012).

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} 100 \quad (2)$$

Com os resultados obtidos, calcula-se a média com os resultados de cada ensaio, a qual pode ser utilizada para as futuras comparações e determinações pertinentes.

A norma NBR 8491 (ABNT, 2012b) delimita que nos ensaios de resistência à compressão os valores individuais não poderão ser inferiores a 1,7 MPa, e a média dos resultados obtidos não poderá ser inferior a 2,0 MPa, com idade mínima de 7 dias. Já nos ensaios de absorção de água, os valores individuais não poderão ser superiores a 22%, e a média dos resultados obtidos não poderá ser superior a 20%, com idade mínima de 7 dias.

2.4 Resultados e discussões

Seguindo todas as recomendações normativas descritas no item 2.3, realizaram-se os ensaios de resistência à compressão e de absorção e os seus respectivos resultados são apresentados e discutidos a seguir. Em todos os casos, foram utilizados tijolos ecológicos com dimensões de 7x12,5x25 (cm).

Nos ensaios de compressão, a área de atuação da força (S) é igual a 15.625 mm², seguindo o procedimento de seccionar o tijolo ao meio. A FIG. 10 apresenta o

ensaio de resistência à compressão (f_c) de um dos corpos de prova, enquanto a TAB. 1 apresenta os resultados obtidos pela Equação 1.

Figura 10 – Ensaio de resistência à compressão de um corpo de prova



Fonte: as autoras (2021).

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Corpos de prova	Carga de ruptura [N]	Resistência à compressão [MPa]
CP1	42603,31	2,73
CP2	47791,71	3,06
CP3	39681,00	2,54
CP4	43594,01	2,79
CP5	27169,63	1,74
CP6	37412,72	2,39
CP7	45111,85	2,89
	Média	2,59
	Desvio Padrão	0,4350

Fonte: as autoras (2021).

Como se verifica na TAB. 1, foram utilizados sete corpos de prova e a resistência média à compressão encontrada foi 2,59 MPa, ficando de acordo com as disposições normativas. Os valores individuais não poderiam ser inferiores a 1,7 MPa, portanto, também estão de acordo. O desvio padrão de 0,435, por sua vez, indica que existe uma pequena dispersão dos dados em torno da média.

Destaca-se que esses valores podem ter sido influenciados pelo fato de não haver uma retífica no laboratório, assim, o corte dos tijolos foi realizado com um arco de serra, o que não possibilita um corte tão preciso, além de suas arestas salientes, que também tornam ele menos plano e podem ter afetado o resultado. Além disso, o fato de os tijolos serem muito heterogêneos e visivelmente mais porosos em algumas regiões faz com que nesses pontos ele venha a se romper mais rápido e, conseqüentemente, também pode afetar os valores da resistência. A heterogeneidade do material, especificamente, faz com que se torne interessante a realização de ensaios com um número maior de corpos de prova.

Lima e Oliveira (2018), por sua vez, também realizaram ensaios de resistência à compressão, mas com tijolos convencionais. Eles utilizaram tijolos cerâmicos de três fabricantes da microrregião do Vale do Assú (RN), todos eles com oito furos horizontais e com dimensões de 9x19x19 (cm). Os valores médios de cada fabricante foram 0,68 MPa, 2,56 MPa e 0,6 MPa. Como a norma brasileira NBR 15270-1 (ABNT, 2017) especifica um valor médio de resistência à compressão igual a 1,5 MPa, verifica-se que duas das empresas ficaram abaixo do limite normativo e apenas a segunda obteve resultados satisfatórios. Souza *et al.* (2019) também forneceram valores de resistência à compressão de tijolos cerâmicos da região de Rio Verde (GO), que apresentaram uma resistência média de 0,86 MPa e, portanto, ficaram abaixo das especificações da NBR 15270-1 (ABNT, 2017).

Para o ensaio de absorção de água, foram utilizados seis corpos de prova com o objetivo de se obter um resultado mais preciso. A FIG. 11 apresenta os tijolos solocimento submersos, ao passo que a TAB. 2 apresenta os resultados obtidos pela Equação 2.

Figura 11 – Tijolos ecológicos submersos



Fonte: as autoras (2021).

Tabela 2 – Absorção de água

Corpos de prova	Massa Seca	Massa após imerso 24h	Absorção de água
CP1	2,56	3,12	21,88%
CP2	2,62	3,14	19,85%
CP3	2,74	3,22	17,52%
CP4	2,78	3,24	16,55%
CP5	2,56	3,06	19,53%
CP6	2,6	3,1	19,23%
		Média	19,09%
		Desvio Padrão	0,0187

Fonte: as autoras (2021).

Os resultados mostrados na TAB. 2 permitem concluir que a média de 19,09% se enquadra nas determinações normativas, assim como os valores individuais inferiores a 22%. O desvio padrão de 1,87% mostra que os valores estão muito pouco dispersos em torno da média, o que assegura a confiabilidade dos resultados.

Neste contexto de comparação com os tijolos cerâmicos, a NBR 15270-1 (ABNT, 2017) determina que o índice de absorção de água dos tijolos cerâmicos não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%. Ensaios realizados por Souza *et al.* (2019) apresentaram um valor médio de 17,92% de absorção de água dos tijolos cerâmicos convencionais. Nos ensaios destes autores, foram utilizados três corpos de prova e

os resultados tiveram um desvio padrão de 0,11%, portanto, uma amostra bastante homogênea, que apresenta bons resultados. O tijolo utilizado possui dimensões de 9x18x28 (cm), com furos horizontais, que é comumente utilizado na região de Rio Verde (GO), onde foram feitos os ensaios, cujo procedimento é o mesmo realizado para o tijolo ecológico. Brito *et al.* (2018) também fornecem valores positivos em relação à absorção de água de tijolos da região da Paraíba. Os seus ensaios foram realizados com tijolos de oito furos de cinco fábricas da região, obtendo-se resultados que variaram de 8,78% a 12,75%, obedecendo também ao limite admitido pela norma.

Quando se realiza um comparativo entre os tijolos ecológico e cerâmicos, relacionado a absorção de água, percebem-se valores bem próximos e que ambos se enquadram nos limites e determinações das normas. Portanto, quando analisados os parâmetros estudados neste trabalho, o tijolo ecológico se torna uma opção viável, não trazendo prejuízos relacionados à umidade, que pode afetar a estética das edificações, contribuir para proliferação de bactérias e até mesmo afetar a resistência da alvenaria.

Soares *et al.* (2003, p. 969) destaca que a mutabilidade dos resultados está relacionada às etapas de produção do tijolo: “não homogeneidade da matéria prima das misturas, umidade de moldagem, secagem deficiente, variação da temperatura e tempo de queima, entre outros”.

Sendo assim, quando relacionamos a resistência dos materiais, o tijolo ecológico se torna um atrativo, já que cumpre com os valores normativos e possui valores de resistência superiores ao necessário, enquanto o cerâmico muitas vezes não atinge os resultados estabelecidos. Então, é de suma importância que se tenha um controle maior de produção e que sejam realizados testes para que se verifique a real eficiência do material utilizado. A falta de controle tecnológico pode gerar um material que não cumpre com as especificações para uma alvenaria segura, assim, Brito *et al.* (2018) ressaltam a importância da realização e da verificação desses ensaios para a construção de edificações de boa qualidade e para que se evite contratempos futuros referentes à alvenaria. Gomes Júnior *et al.* (2017) destacam ainda a importância do controle de absorção de água, já que o não cumprimento das recomendações normativas pode acarretar em patologias na alvenaria, podendo reduzir sua resistência à compressão, já que a umidade excessiva prejudica a aderência dos tijolos e os torna propícios ao aumento de fissuras.

2.5 Dimensionamento e comparativo de custos

Sabe-se que o orçamento na construção civil é de suma importância, uma vez que através dele é possível estimar o valor final da obra. Para Silva *et al.* (2015), o interesse pelo tema é justificado pela necessidade do levantamento de custos, primordial para definir se o empreendimento é viável ou não.

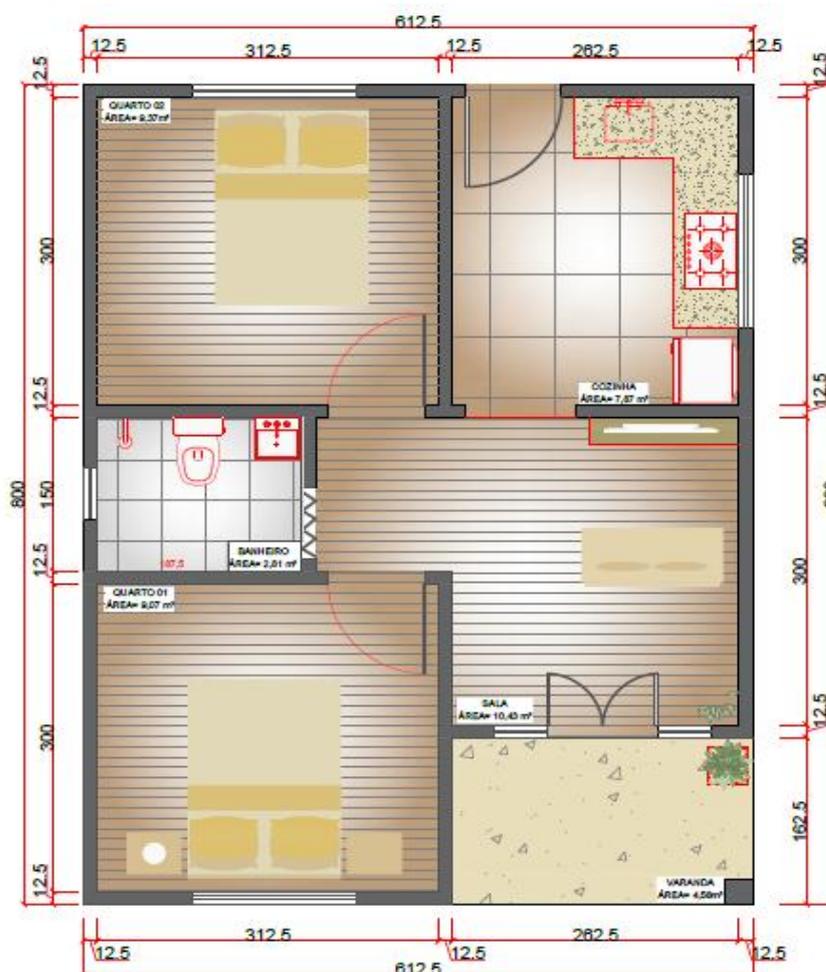
Com o intuito de realizar uma comparação de custos fixos entre os materiais construtivos, tijolo ecológico e convencional, elaborou-se uma planta baixa de edificação residencial, a qual foi posteriormente dimensionada e seus materiais foram cotados com base nos valores da região de Conselheiro Lafaiete. A FIG. 12 exibe a fachada da edificação, enquanto a FIG. 13 apresenta a planta baixa.

Figura 12 – Fachada da edificação



Fonte: as autoras (2021).

Figura 13 – Planta baixa da edificação

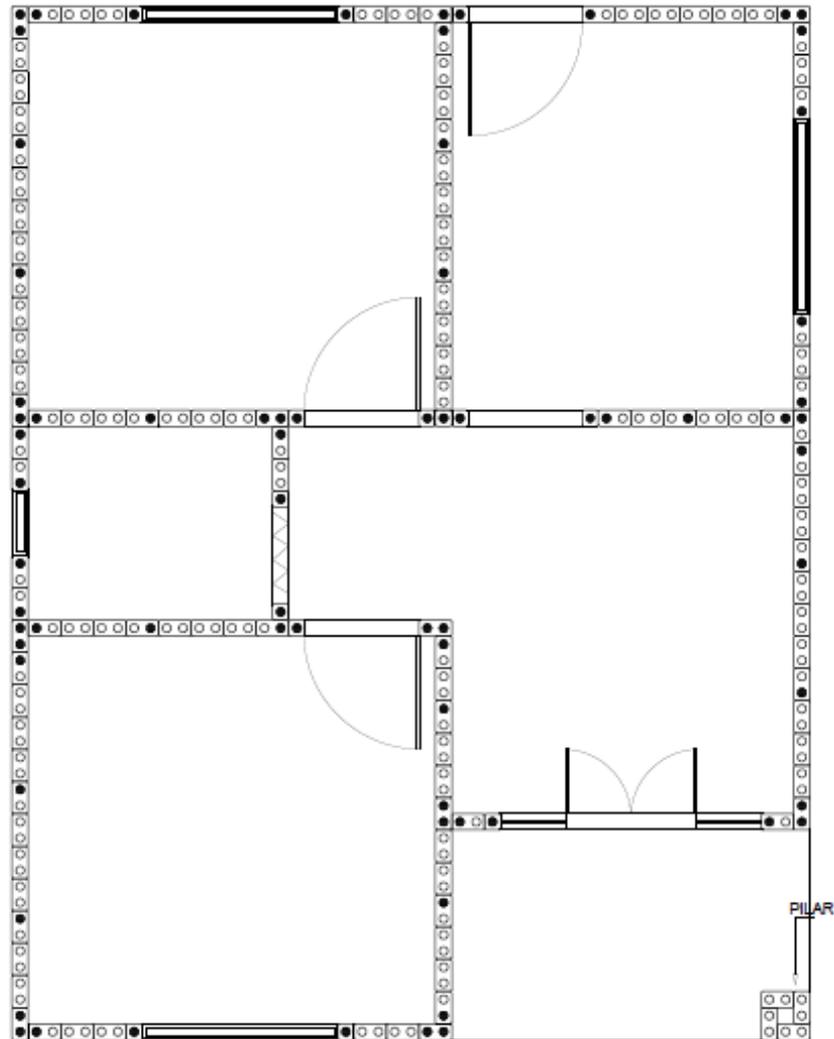


Fonte: as autoras (2021).

Para o dimensionamento da edificação utilizando o tijolo ecológico, adotou-se pilares a cada um metro, como mostrado na FIG. 14, onde os espaços com aberturas foram adaptados, e também foram adicionadas colunas nos encontros de paredes, utilizando 3 barras, e ganchos a cada 0,50 m de parede para que sejam feitas as amarrações, como esquematizado na FIG. 15. Nos lugares das vigas, utilizaram-se tijolos tipo canaleta, abaixo e acima das janelas e na fiada do topo, usando duas barras.

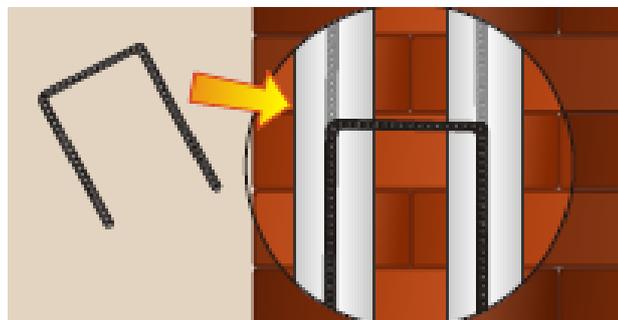
O comparativo de custos foi feito considerando o material necessário para a construção das duas edificações empregando alvenaria convencional (tijolo cerâmico) e tijolo ecológico, não sendo considerada fundação, telhado, instalação elétrica e hidrossanitária, uma vez que para ambas os valores seriam os mesmos, não alterando no valor final da obra para fins de comparação.

Figura 14 – Planta de aberturas e pontos de grauteamento



Fonte: as autoras (2021).

Figura 15 – Gancho de amarração



Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013)

Destaca-se que a alvenaria em tijolo cerâmico inclui alguns processos que não são realizados no tijolo ecológico, como serviços de reboco, emboço e chapisco. Sendo assim, os valores referentes a estes serviços, incluindo a mão de obra, já que

é necessário mais tempo para realizar esses processos, foram considerados somente no orçamento do sistema em alvenaria convencional.

Feito o dimensionamento, os materiais de cada sistema foram calculados e cotados, conforme apresentam as TAB. 3 e 4. Os valores de referência, incluindo a mão de obra, foram retirados da planilha SETOP¹, de julho de 2021, para uma área construída de 49 m². Os tijolos ecológicos serão assentados com argamassa, e os materiais para assentamento do cerâmico estão incluídos no cimento, areia e cal.

Tabela 3 – Planilha orçamentária tijolo ecológico

Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Preço Total	
1	Superestrutura					
1.1	Brita	m ³	0,5	R\$ 139,50	R\$	69,75
1.2	Cimento (50 kg)	unidade	11	R\$ 33,00	R\$	363,00
1.3	Areia	m ³	1,5	R\$ 112,00	R\$	168,00
1.4	Ferro para pilares 8 mm	barra	19	R\$ 52,90	R\$	1.005,10
1.5	Ferro para canaletas 5 mm	barra	25	R\$ 25,90	R\$	647,50
					Subtotal	R\$ 2.253,35
2	Alvenaria					
2.1	Tijolo de ecológico (2 furos)	unidade	6120	R\$ 1,45	R\$	8.874,00
2.2	Tijolo canaleta	unidade	634	R\$ 1,45	R\$	919,30
					Subtotal	R\$ 9.793,30
3	Materiais Complementares					
3.1	Argamassa (20 kg)	unidade	26	R\$ 16,90	R\$	439,40
3.2	Rejunte (1 kg)	unidade	79	R\$ 4,90	R\$	387,10
3.3	Resina de acabamento (20 litros)	unidade	80	R\$ 267,90	R\$	1.071,60
					Subtotal	R\$ 1.898,10
					Custo Total	R\$ 13.944,75

Fonte: as autoras (2021).

¹ Disponível em: http://www.infraestrutura.mg.gov.br/images/documentos/precosetop/2021/07-jul/sem-desoneracao/202107_SETOP_LESTE_SEM_DESONERACAO.pdf.> Acesso em: 26 set. 2021.

Tabela 4 – Planilha orçamentária tijolo cerâmico

Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Preço Total
1	Superestrutura				
1.1	Brita	m ³	5	R\$ 139,50	R\$ 697,50
1.2	Cimento (50 kg)	unidade	5	R\$ 33,00	R\$ 165,00
1.3	Areia	m ³	5	R\$ 112,00	R\$ 560,00
1.4	Ferro de 10 mm	barra	16	R\$ 70,00	R\$ 1.120,00
1.5	Ferro de 8 mm	barra	16	R\$ 52,90	R\$ 846,40
1.6	Ferro de 6,3 mm	barra	6	R\$ 32,90	R\$ 197,40
1.7	Ferro de 5 mm	barra	51	R\$ 25,90	R\$ 1.320,90
				Subtotal	R\$ 4.907,20
2	Alvenaria				
2.1	Tijolo cerâmico	unidade	2364	R\$ 1,40	R\$ 3.309,60
				Subtotal	R\$ 3.309,60
3	Materiais Complementares				
3.1	Pintura	m ²	21,6	R\$ 342,00	R\$ 342,00
3.2	Chapisco com argamassa, traço 1:3 (cimento e areia), esp. 5mm, aplicado em alvenaria com peneira, preparo mecânico (SETOP REV-CHA-010)	m ²	10,12	R\$ 188,28	R\$ 1.905,39
3.3	Emboço com argamassa, traço 1:6 (cimento e areia), esp. 20mm, aplicação manual, preparo mecânico (SETOP REV-EMB-005)	m ²	25,73	R\$ 188,28	R\$ 4.844,44
3.4	Reboco com argamassa, traço 1:2:8 (cimento, cal e areia), esp. 20mm, aplicação manual, preparo mecânico (SETOP REV-REB-015)	m ²	26,12	R\$ 188,28	R\$ 4.917,87
				Subtotal	R\$ 12.009,71
				Custo Total	R\$ 20.226,51

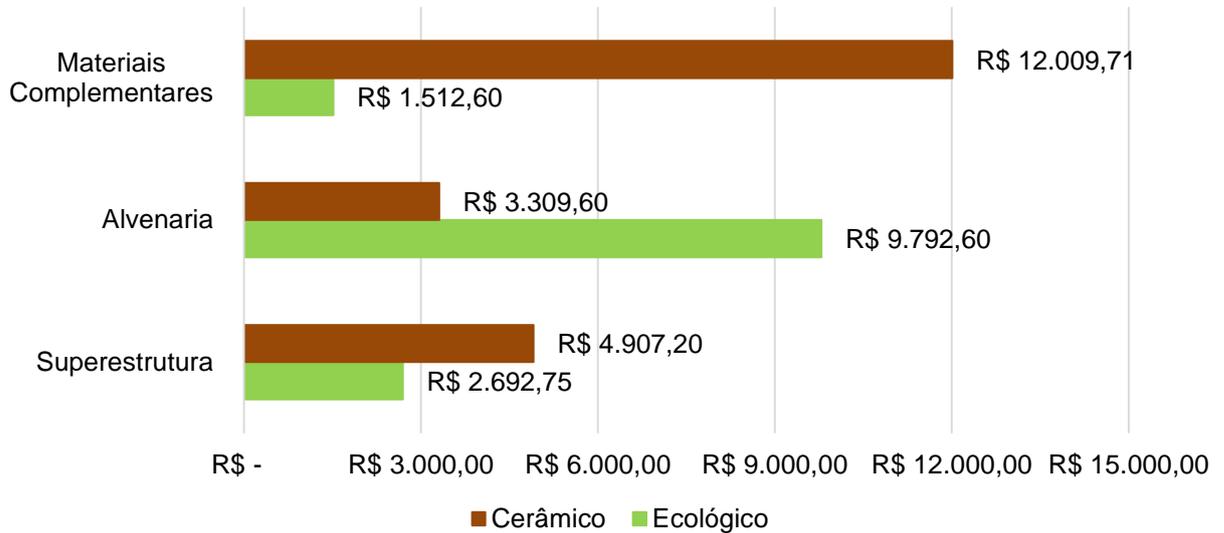
Fonte: as autoras (2021).

Em posse dos dados finais de ambas planilhas de custos, é possível concluir que utilizando os tijolos de solo-cimento, há uma redução do valor final 31,06%, quando comparado ao tijolo cerâmico. Tal redução pode ser explicada por diversos fatores, entre eles o aspecto do acabamento do tijolo ecológico, que pode ser feito apenas com aplicação de resina, e a sua função de camuflar a parte estrutural, não sendo necessários gastos com madeiras para fôrmas.

O GRAF. 1 apresenta a diferença detalhada entre os dois métodos, sendo as distinções destacadas acima enfatizadas pelos resultados. É possível perceber que

mesmo com uma grande diferença entre os preços da alvenaria, ainda assim o tijolo ecológico é uma ótima opção, já que a economia na superestrutura equipara as duas alvenarias.

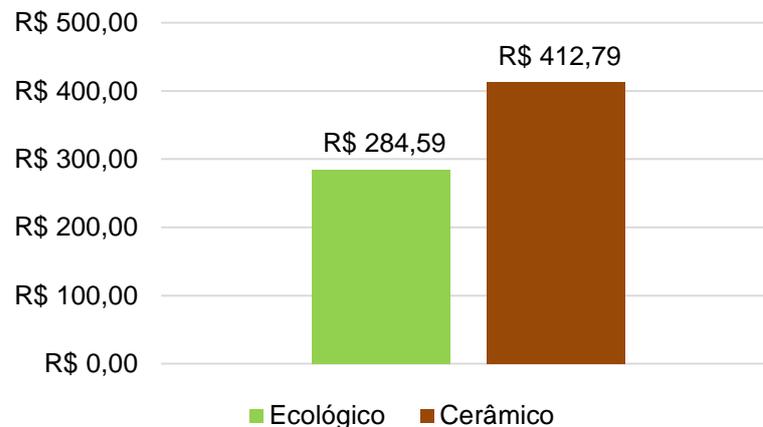
Gráfico 1 – Comparativo de custos para edificação com tijolo cerâmico e ecológico



Fonte: as autoras (2021).

Empregando o valor do metro quadrado (m^2) como o principal comparativo, é possível inferir que o tijolo cerâmico tem um aumento significativo em relação à utilização do tijolo ecológico, cerca de 45% a mais, como demonstrado no GRAF. 2.

Gráfico 2 – Comparativo de custos por metro quadrado



Fonte: as autoras (2021).

Diante dos argumentos e comprovações técnicas apresentadas no decorrer deste trabalho e ainda considerando as vantagens econômicas, é possível comprovar a importância do sistema construtivo em tijolo ecológico, uma vez que, além de ter um menor consumo de materiais, agiliza o processo de construção e não acarreta na geração de grandes quantidades de entulho como o tijolo cerâmico, sendo este um grande incentivo à sua aplicação. Este fato é ainda corroborado pela questão ambiental que os envolve, sendo que para a fabricação do tijolo ecológico não há a queima durante a sua cura. Ainda citando os destaques positivos, é necessário enfatizar o grande déficit de moradias, para o qual o tijolo solo-cimento pode ser um aliado no declive desse indicador.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de métodos construtivos mais eficazes e voltados para a sustentabilidade são cada vez mais pertinentes, uma vez que a construção civil desponta com uma grande necessidade de alternativas com menores custos e agressividade ao meio ambiente. Neste sentido, nota-se que o emprego do tijolo ecológico contribui para o desenvolvimento econômico e social, já que possibilita o acesso à moradia à grande parte da população, com um processo de execução mais barato, o que o torna mais acessível. Isso possibilita a redução do custo final da edificação, além de minimizar a degradação ambiental, já que tem um processo de produção sustentável.

Considerando toda abrangência do tema, é necessário analisar também que o tijolo requer alguns cuidados especiais, sendo que há as patologias comuns referentes ao seu uso, como o desgaste superficial, as fissuras ocasionadas pelo efeito de retração e a percolação. Assim, os ensaios laboratoriais visam verificar o comportamento do material sob condições de trabalho, já que muitas de suas propriedades são cruciais para que não haja nenhum prejuízo para a estrutura em condições de uso. Portanto, é essencial que o tijolo ecológico esteja de acordo com as normas aplicáveis para que se torne um substituto viável.

A partir do estudo comparativo realizado neste trabalho, nota-se que por vezes os tijolos convencionais não atendem às especificações de resistência, além de apresentarem uma variabilidade alta nos resultados, demonstrando a inexistência de um padrão de produção. Isso torna o uso do tijolo ecológico uma boa alternativa, já que suas propriedades mecânicas podem ser melhores que as do cerâmico e seguem os valores estipulados por norma. Em relação aos ensaios realizados, entende-se que seria importante a realização de novos ensaios com uma amostragem de corpos de provas maior, visando a realização de uma análise estatística para se verificar a significância dos resultados. Esta temática, inclusive, fica como sugestão para trabalhos futuros.

No comparativo de custos, mesmo que a alvenaria de tijolo ecológico tenha um custo maior que o do tijolo cerâmico, a economia em outras etapas do processo construtivo, como a de revestimento, faz com que ela também se destaque nesse parâmetro.

Acrescenta-se que, mesmo sendo um material utilizado há décadas, ainda existe uma resistência em relação à utilização do solo-cimento. Acredita-se que a utilização do solo torna o material menos resistente e, conseqüentemente, sua vida útil mais curta quando comparada aos materiais convencionais. Entretanto, no decorrer deste trabalho foram apresentadas evidências que contestam esta teoria, mostrando que ele apresenta valores de resistência melhores que os tijolos convencionais. Ainda assim, como todo material, o tijolo ecológico possui algumas desvantagens, entretanto quando comparado ao método construtivo atual, destaca-se em todos os comparativos.

Por fim, percebe-se a necessidade de pesquisas e da disseminação de informações a respeito desse método, para que ele se torne cada vez mais usual, já que se diferencia por questões sustentáveis e contribui para a manutenção do equilíbrio do ecossistema. Ainda, aponta-se a necessidade da divulgação de informações e dados, que mostrem aos consumidores do mercado da construção civil que ele é uma opção de alvenaria com inúmeros benefícios. Acredita-se também que este viés de pesquisa seja de grande relevância, uma vez que correlaciona a sustentabilidade com a melhora de problemas sociais, como déficit habitacional.

REFERÊNCIAS

ANJOS, M. A. S. *et al.* Compósitos à base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu. Parte II: Uso de resíduos cerâmicos na matriz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v. 7, n. 2, p. 346-349, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento; normas de dosagem e métodos de ensaios**. 3. ed. atual. Revisada pelo Eng. Márcio Rocha Pitta. São Paulo, 1986. 57p. (ET-35)

_____. **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 15270-1**. Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 10833**. Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012a.

_____. **NBR 8491**. Tijolo de Solo-Cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012b.

_____. **NBR 8492**. Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012c.

BOTINAS, Rui de Abreu. **Estudo do solo como material de construção sustentável**. Orientadores: Doutora Maria Isabel Moita Pinto e Doutor Adelino Vasconcelos Lopes. 2017. 80f. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Geotecnia. Faculdade de ciências e tecnologia Universidade de Coimbra, Coimbra, 2017.

BRITO, W. O. *et al.* Análise da resistência mecânica, absorção e eflorescência de tijolos na paraíba. In: CONFERÊNCIA SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS – PATORREB, n. 6, 2018, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro, 2016.

COLARES, R. S. **Avaliação da eficiência térmica da alvenaria de vedação utilizando tijolos cerâmicos**. Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Alexandrino. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade, Teófilo Otoni, 2017.

CORTEZE, Larissa da Palma *et al.* Análise da resistência mecânica de tijolos ecológicos a partir da prototipagem rápida. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 12, p. 94710-94717, 2020.

EUPHROSINO, C. A.; FONTANINI, P. S. **Análise do solo utilizado na fabricação de tijolos solo-cimento para habitação de interesse social em Limeira-SP.** In: Workshop de tecnologia de processos e sistemas construtivos, 2021. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, p. 1-6, 2021.

FERREIRA, G. C. S.; MORENO JÚNIOR, A. L. Cola à Base de PVA e Argamassa de Solo-Cimento Como Alternativas Para o Assentamento de Alvenaria de Tijolos Maciços de Solo-Cimento. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 237- 248, 2011.

FIAIS, Bruna Barbosa; SOUZA, Danilo Sarto de. **Construção sustentável com tijolo ecológico.** Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 02, n. 01, p. 94-108, jan./ago. 2017.

FRANÇA, Danilo de Araújo.; SIMÕES, Marina Teixeira. **Tijolo solo-cimento: processo produtivo e suas vantagens econômicas e ambientais.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - UniEvangélica, Anápolis-GO, 2018.

Fundação João Pinheiro. **Deficit habitacional no Brasil – 2016-2019** / Fundação João Pinheiro. – Belo Horizonte: FJP, 2021.

GOMES JÚNIOR, Francisco Célio Nogueira *et al.* Conferência da qualidade dos blocos cerâmicos vazados para alvenaria de vedação produzidos pelas fábricas da cidade do Crato-CE. In: CONFERÊNCIA NACIONAL DE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS, n. 1, 2017, Recife. **Anais** [...] Recife, 2017.

GRANDE, F. G. **Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-Cimento por Prensagem Manual com e sem Adição de Sílica Ativa.** 2003. 165 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

LIMA, R. A.; OLIVEIRA, M. P. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos cerâmicos produzidos por indústrias do vale do Assú-RN.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, Mossoró, 2018.

LIMA, D. S. J. **Análise da viabilidade construtiva e econômica na aplicação de tijolo de solo-cimento em habitações populares na ilha de São Luís.** Orientador: Profº Msc. David Col Debella. 2016. 42 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2016.

LIMA JÚNIOR, Humberto. C. *et al.* Structural behavior of load bearing brick walls of soil-cement with the addition of grosoarund ceramic waste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 552-558, 2003.

MASSEI, Roberto.; MONTYSUMA, Marcos.; O impacto ambiental da cerâmica vermelha no Norte do Paraná. SIMPÓSIO NACIONAL DE HISTÓRIA, n. XXVIII, 2015, Florianópolis – SC. **Anais** [...] Florianópolis – SC, 2015.

MIELI, P. H. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro- RJ, 2009.

MOTTA, J. C. S. S. *et al.* Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **Revista e-xacta**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 13-26, 2014.

NASCIMENTO, A. M. do; FEITOSA, A. O.; ALMEIDA, T. S.; LACERDA, D. M. Tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil. **Inter Scientia**, João Pessoa, Semestral. v. 6, n. 1, p.187-202, 12 jun. 2018.

PINTO, L.M. **Estudo de tijolos de solo cimento com adição de resíduo de construção civil.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

PISANI, Maria Augusta Justi. Um material de construção de baixo impacto ambiental: O tijolo de solo-cimento. **Sinergia**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 53-59, 2005.

SALA, L. G. **Proposta de Habitação Sustentável para Estudantes Universitários.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.

SAMPAIO, Guilherme Santos; NUNES, Ingrid Elena Schnoor. Estudo interdisciplinar da viabilidade de aplicação do tijolo de solo-cimento na construção civil: economia aliada à sustentabilidade. **Janus – Revista Científica de Pesquisa – UNIFATEA**, Lorena, v. 12, n. 21, jan/jun, 2015.

SANTANA, J.E.S.; CARVALHO, A.C.X.; FARIA, R.A.P.G. **Tijolo ecológico versus tijolo comum: Benefícios ambientais e economia da energia durante o processo de queima.** In: IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2013.

SANTANA FILHO, César Carlos *et al.* Tijolo solo-cimento: apontamentos contemporâneos em termos de Brasil. **Revista Espacios**, Venezuela v. 39, n. 51, 2018.

SANTOS, E. C. O. B.; CHAVES JÚNIOR, J. M. **Mitigação de impactos ambientais através do uso de materiais de construção ecológicos.** Estudo de caso: tijolos ecológicos comparados a tijolos cerâmicos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - UniEvangélica, Anápolis, 2018.

SILVA, Kássio, *et al.* **ORÇAMENTO: A composição de custos na construção civil.** Revista Pensar Engenharia, v.3, n. 1, 2015

SOARES, J. M. D. *et al.* Resistência mecânica e absorção de água de produtos de cerâmica vermelha produzidos na região central do Estado do Rio Grande Do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, n. 43, 2003, João Pessoa. **Anais** [...] João Pessoa, 2003, p. 965-974.

SOUZA, Gabriel Miranda, *et al.* **Análise Comparativa das Propriedades Mecânicas entre Tijolos de Solo-Cimento e Tijolos Cerâmicos**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2010.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 205-212, 2008.

TORGAL, F. P. *et al.* Considerações sobre a sustentabilidade das unidades de alvenaria. In: FERREIRA, V. M. *et al* (Coord.). **Inovação na construção sustentável (CINCOS'10)**. Portugal, 2010, p. 139-152.

WEBER, Eduardo, *et al.* Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na Construção Civil. **Ignis: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação**, Caçador, v. 6, n. 2, p. 18-34, maio/ago. 2017.