

TEMA C: Construção, Reabilitação e Manutenção Habitacional – da investigação às novas práticas

## EFICIÊNCIA DO CIMENTO EM TIJOLOS ECOLÓGICOS UTILIZADOS EM HABITAÇÃO NO ESPAÇO LUSÓFONO



Beatriz Santos Silva Betette<sup>a</sup>



Bruno Luís Damineli<sup>b</sup>

(a: Arquiteta e Urbanista, Aluna de Mestrado na Universidade de São Paulo, [beatrizbetette@usp.br](mailto:beatrizbetette@usp.br); b: Arquiteto e Urbanista, Mestre e Doutor em Engenharia Civil, Professor na Universidade de São Paulo, [bruno.daminelli@usp.br](mailto:bruno.daminelli@usp.br))

### Resumo:

No cenário construtivo atual, predomina-se o uso de materiais que utilizam substratos à base de cimento. A produção deste componente depende de um alto valor energético, no que tange, principalmente, a problemáticas relativas à pegada de carbono, e, conseqüentemente, na potencialização da degradação ambiental. A indústria da construção civil está dentre as que mais poluem o globo, percebida em seus meios de produção, transporte e descarte. Assim, há necessidade de estudo sobre a eficiência de materiais construtivos com base cimentícia, a partir de uma avaliação que pese a relação entre o impacto ambiental (consumo de cimento) e desempenho em uso (dado principalmente pela resistência à compressão). O tijolo ecológico é um material construtivo que pode ser produzido com diferentes dosagens de solo e de cimento. É introduzido no eixo da bioconstrução a partir do uso da terra como uma alternativa para uso como produto de vedação; porém, como há incorporação do uso de cimento, e a resistência à compressão, em geral, é baixa, há dúvidas quanto ao caráter ambiental do tijolo. Por isso, é proposta a avaliação da eficiência do bloco de tijolo ecológico utilizado em habitações, a partir de dados do consumo de cimento por meio do cálculo do índice de ligantes (IL), definido como a razão entre o consumo de ligantes e a resistência à compressão. Como objeto de análise, serão utilizados três projetos de habitação, sendo estas localizadas no Brasil, Portugal e Angola. O estudo identificou que a eficiência do cimento é avaliada em acordo com os componentes presentes na mistura, em que quando há uso de agregados além ao uso exclusivo de solo e cimento, há aumento de eficiência do ligante utilizado, sendo que o valor de resistência à compressão, não necessariamente está relacionado à sua eficiência. Assim, pretende-se criar uma ferramenta importante para entender os parâmetros relativos à ecoeficiência do tijolo ecológico, uma vez que este é empiricamente caracterizado como um material sustentável, porém sem estudos que tenham realizado discussões aprofundadas sobre o impacto ambiental do cimento incorporado em sua dosagem.



**Palavras-chave:** tijolo ecológico; bloco de terra comprimida; solo-cimento; eficiência do cimento; índice de ligantes.

## 1. Introdução

O cimento é o material mais utilizado no mundo pela indústria da construção civil [1]. A popularidade do material se deve, especialmente, à sua versatilidade em aplicações construtivas. O cimento é um produto fácil de manusear, o que simplifica sua aplicação, impactando diretamente na eficiência da mão-de-obra. Além disso, é um material durável e resistente, podendo ser adaptado a diferentes escalas de aplicação, o que permite uma grande flexibilidade criativa quando na construção de edifícios. Por fim, o custo de produção do cimento é relativamente baixo, especialmente quando comparado a outros materiais de construção.

No Brasil, o cimento é predominante no setor da construção e desempenha um papel crucial na economia brasileira, já que a indústria da construção civil contribui diretamente para o PIB nacional [2]. Em 2022, foram comercializadas 63 milhões de toneladas de cimento no Brasil, refletindo em 3,2% do PIB do país. Não obstante, o cimento também lidera papel significativo nas economias de Portugal e Angola. O consumo português de cimento totalizou quase 4 mil toneladas em 2023 [3]. No mesmo ano, Angola vendeu mais de 2,6 milhões de toneladas de cimento, face a uma capacidade de produção margeada em mais de 3 vezes desse volume. Nos últimos três anos, as vendas globais de cimento alcançaram 14,6 milhões de dólares [4].

No entanto, o consumo de cimento não domina apenas o setor econômico. Dentre todos os resíduos encontrados nas cidades brasileiras, 40% a 70% são provenientes da construção civil, com alto índice de materiais de base cimentícia, sendo que mais de 50% desses resíduos são descartados de maneira inadequada no meio ambiente [5]. Também, a produção do cimento é caracterizada por um alto consumo de energia e uma ampla emissão de CO<sub>2</sub> e outros gases prejudiciais à saúde, sendo a poluição atmosférica apenas um dos impactos ambientais causados pelos processos produtivos dessa indústria. O setor utiliza 40% das matérias-primas globais, afetando diretamente o meio ambiente [6].

A maior parte do impacto ambiental associado ao cimento está diretamente relacionada ao clínquer Portland utilizado. A produção de clínquer é responsável por mais de 70% das emissões de óxidos de nitrogênio e 80% das emissões de óxidos de carbono. A etapa de transformação do calcário até a calcinação (produção de clínquer) gera uma quantidade significativa de CO<sub>2</sub>. A necessidade de equipamentos que suportem fornos em altas temperaturas exige a queima de combustíveis fósseis, liberando CO<sub>2</sub>, somado ao gás também liberado pela decomposição do próprio calcário. Nesse contexto, aproximadamente 50% das emissões totais de gases poluentes são decorrentes do processo de produção do cimento [7].

O aumento da eficiência do cimento a partir do uso de ligantes alternativos é uma opção com enfoque à redução de CO<sub>2</sub> na sua produção [1,8,9]. A função de um material ligante é unir os componentes de uma mistura, como o próprio nome sugere. A função principal do cimento é atuar como aglomerante, a partir da junção de partículas, e a utilização de ligantes alternativos ao uso de clínquer, pode mitigar implicações da produção cimentícia. Ainda, o uso de ligantes alternativos pode melhorar o desempenho de materiais cimentícios, proporcionando resultados satisfatórios quando comparado ao uso do clínquer Portland.

Por fim, este trabalho objetiva a avaliação da eficiência do consumo de cimento em blocos de tijolo ecológico utilizados em habitações, a partir da utilização do cálculo do índice de ligantes (IL), definido como a razão entre o consumo de ligantes e a resistência à compressão. Para tal, são apresentados três estudos de caso de habitações localizadas no Brasil, Portugal e Angola, traçando um panorâma intercontinental do uso de cimento para a fabricação e utilização desse tipo de tijolo no espaço lusófono. Assim, espera-se medir a eficiência de um produto entendido como ecoeficiente, a partir do cimento incorporado, infringindo diretamente no impacto ambiental produzido.

## 2. Tijolo ecológico

O tijolo ecológico é um bloco de tijolo modular, conhecido por ser um material de construção sustentável, que se destaca por seu baixo impacto ambiental e eficiência energética, quando comparado a outros tijolos comercializados. Esses tijolos são feitos a partir de uma mistura de solo, cimento e água, e são prensados em moldes, resultando em blocos uniformes e resistentes. Dentro da categoria de tijolos ecológicos, se enquadram os blocos de solo-cimento (mais aplicáveis a uso no Brasil, como material para uso em construções habitacionais) e os blocos de terra comprimida, também conhecidos como BTC ou CEB (Compressed Earth Block) (Fig. 1). No segundo caso, pode haver ou não a incorporação de cimento. Para o estudo a seguir, é considerado BTC com adição de cimento.

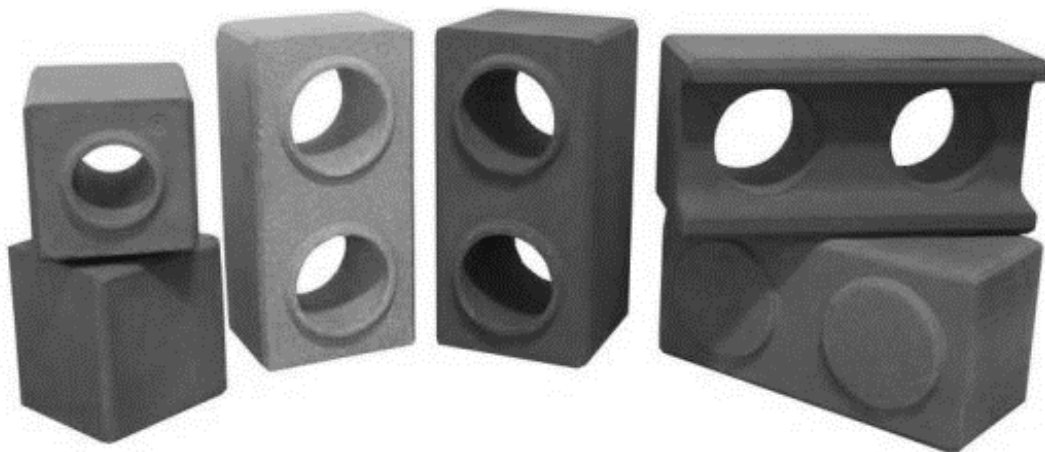


Fig. 1: Blocos de tijolo-ecológico. Fonte: [10].

### 2.1 Bloco de Solo-Cimento

A Associação Brasileira de Cimento Portland [11] define o solo-cimento como o resultado de uma mistura de solo, cimento Portland e água, compactada na umidade ideal e resultando com a máxima densidade seca possível. O solo deve estar livre de matéria orgânica e apresentar uma boa granulometria. Ademais, a água utilizada precisa ser limpa e isenta de substâncias orgânicas. O cimento deve ser escolhido entre os tipos CP III (de escória de alto-forno), CP IV (pozolânico) ou CPV (de alta

resistência inicial) [12]. Quando prensado, curado e seco, o material, dosado em proporções específicas, adquire resistência e durabilidade graças à hidratação do cimento. O produto é comumente associado a um material sustentável, principalmente pela sua composição, uma vez que dois desses componentes são obtidos diretamente na natureza. Assim, espera-se que a sua produção tenda a ser mais simples e limpa. No entanto, a inclusão do cimento suscita debates sobre a verdadeira sustentabilidade do produto, dado que a produção do cimento é de fato poluente, conforme foi citado no tópico 1.

## 2.2 Bloco de Terra Comprimida (BTC)

Mais conhecido e utilizado em Portugal e Angola, o BTC, ou CEB (Compressed Earth Block), também pode ser chamado de Bloco de Terra Comprimida Estabilizada (SCEB) é similar ao solo-cimento quando há associação do ligante cimentício. A mistura do bloco é compactada e comprimida em moldes com o uso de uma prensa mecânica ou hidráulica, resultando em blocos sólidos que podem ser utilizados na construção de edificações. O BTC pode ser apresentado em volume maciço ou com furos, como nos blocos de solo-cimento, viabilizando melhor aproveitamento para passagem de tubulações hidráulicas e elétricas. Diferente do bloco de solo-cimento, o BTC sem cimento não possui regulamentação normativa para produção dos blocos, o que abre margem à confiabilidade de utilização do produto. No mais, a caracterização sustentável atribuída ao material é pautada nos mesmos preceitos.

## 2.3 Sustentabilidade do material

O uso de técnicas de construção que empregam materiais naturais, como o solo e a água, abre caminho para a aplicação da bioconstrução. Sistemas vernaculares utilizam materiais provenientes de fontes naturais e incorporam preocupações ambientais desde a concepção até a ocupação do espaço construído, caracterizando assim a abordagem bioconstrutiva. Técnicas que combinam e variam materiais e sistemas construtivos, tendem a aprimorar o processo de construção, resgatando características ancestrais. O tijolo ecológico é um exemplo dessa técnica associativa, que une um material ancestral a um componente industrializado.

O uso do solo como material construtivo, permite uma vasta aplicação do seu produto, já que é obtido a partir de uma matéria-prima abundante em todo o mundo. Além disso, a ausência de necessidade de queima e suas propriedades isolantes resultam em uma produção econômica [13]. Esse custo energético reduzido se reflete tanto na fabricação do material, quanto no seu uso após a construção, proporcionando ambientes com alto nível de conforto térmico.

O processo produtivo do tijolo em questão não exige grande quantidade de energia, pois os blocos são prensados, sem a necessidade de queima em forno à lenha, o que elimina a energia necessária para essa combustão. Isso contrasta diretamente com os tijolos cerâmicos convencionais, que requerem um processo produtivo diferente [14]. A combustão utilizada na fabricação desses tijolos cerâmicos resulta na emissão de gases de efeito estufa e na dependência significativa de combustíveis fósseis. Esse fator, aliado ao uso do solo na composição dos tijolos ecológicos, faz deles uma opção de construção mais sustentável, quando comparada ao modelo cerâmico.

Aplicada à construção civil, a sustentabilidade envolve o uso de produtos, materiais e tecnologias que reduzam o consumo energético e os impactos ambientais durante a produção e uso. Isso inclui a minimização da extração de matéria-prima e a redução da degradação ambiental e poluição associada ao descarte de materiais. Diante do

aumento exponencial da degradação ambiental, a busca por materiais de construção sustentáveis tem se tornado cada vez mais comum. Fato que adentra a caracterização do tijolo ecológico como um produto passível de enquadramento sustentável.

No entanto, o uso de cimento como componente das misturas do tijolo, margeia questionamentos à essa sustentabilidade dita, uma vez que é um material advindo de uma produção altamente poluente e detrativo ao meio ambiente (natural e construído). Desse modo, é imprescindível que seja despendida atenção especial ao dosar a mistura do produto, visando avaliar os índices de cimento presentes na composição.

### 3. Metodologia

O trabalho se desenvolve a partir de uma revisão bibliográfica e apresentação de três estudos de caso sobre projetos de habitação localizados no Brasil, Portugal e Angola, produzidas com uso de tijolos ecológicos, em aplicações de solo-cimento e BTC estabilizado com cimento. A seguir, é proposta uma experimentação do consumo de cimento medido através do cálculo de índice de ligantes (IL), através da avaliação das dosagens de cimento do bloco utilizado em cada habitação, visando obter dados quantitativos relativos à eficiência dos produtos.

Para avaliar o desempenho do cimento utilizado (o tipo de cimento poderá influenciar a resistência à compressão, uma vez o teor de clínquer Portland é muito variável entre os diferentes tipos de cimento existentes), pode-se aplicar a equação de verificação do Índice de Ligantes, que permite determinar a Intensidade de Ligante (IL). O IL é um índice simplificado que mede a quantidade total de ligante necessária para alcançar uma unidade de desempenho funcional (UDF), como, por exemplo, 1 MPa [15,16]. O IL é calculado conforme a Eq. (1).

$$IL = ML \div UDF \quad (1)$$

Onde:

IL: Intensidade de Ligantes ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Mpa}$ )

ML: Teor ou massa de ligante utilizado ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

UDF: Unidade de desempenho funcional

### 4. Estudos de caso

#### 4.1 Habitação de Interesse Social em Limeira (Brasil)

O estudo trata de uma Habitação de Interesse Social (HIS) localizada na cidade de Limeira, interior do Estado de São Paulo, Brasil. Os blocos de solo-cimento utilizados na produção da habitação, foram fabricados pela Olaria Ecológica Comunitária localizada no Jardim Aeroporto da cidade. A Olaria visa possibilitar a construção de habitações para pessoas de baixa renda, por meio de uma solução que fortalece preceitos de redução de impacto ambiental [17]. A construção residencial foi assistida pela equipe de assistência técnica da Secretaria de Habitação (SEHAB) da Prefeitura de Limeira, em conjunto com a olaria. O layout da habitação é composto por dois quartos, um banheiro, sala e cozinha conjugados e área de serviço (Fig. 2) [18].

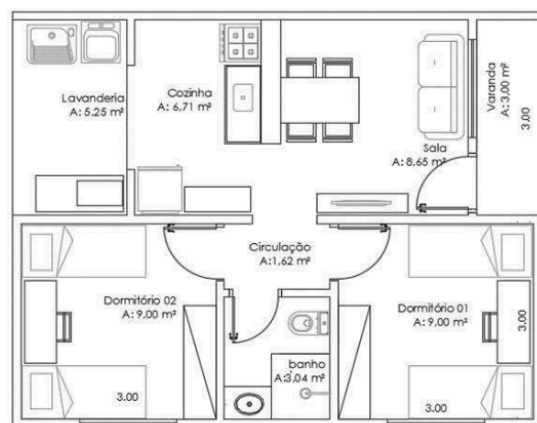


Fig. 2: Layout da HIS em Limeira. Fonte: [18].

O cimento utilizado para a produção dos tijolos foi o CP II E-32. O solo escolhido é proveniente do sul do Estado brasileiro de Minas Gerais, sendo classificado como de textura silto-arenosa. A distância entre o local em que o solo foi coletado à olaria possui cerca de 140 Km. A escolha da região de coleta do solo foi arbitrária, de modo a experimentar solo de textura silto-arenoso mineiro com disponibilidade para uso. A sua caracterização demonstrou densidade de  $2650 \text{ kg/m}^3$ , contendo 10% de argila, 8% de silte e 82% de material arenoso. Foi feita mistura manual de cimento e solo (do tipo saibro) nas proporções de 1:7 (volume de 7 partes de solo para 1 de cimento). A água foi sendo adicionada de forma arbitrária até que a mistura obtivesse a consistência considerada adequada. O teor de água utilizado foi de 10% em relação ao volume da mistura. Os blocos foram prensados em prensa hidráulica manual e colocados em processo de cura durante 28 dias em ambiente externo com cobertura, protegidos do sol e sob plástico. Por fim, os tijolos atingiram dimensões de  $250 \text{ mm} \times 125 \text{ mm} \times 62,5 \text{ mm}$ , teor de umidade em 11% e uma resistência à compressão de  $4,13 \text{ MPa}$ .

## 4.2 Bangalôs de Resort em Luanda (Angola)

Neste estudo, é apresentado o projeto de construção de bangalôs para um resort na cidade de Luanda, em Angola. O resort conta com uma área total de 2 hectares, com entrada a sul e áreas de estacionamento, zona de restauração e piscina (Fig. 3).



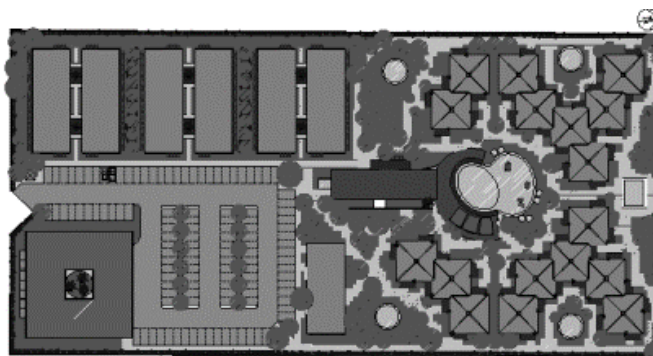


Fig. 3: Vista panorâmica da zona da piscina e implantação do empreendimento. Fonte: [19].

Os bangalôs são formados por modelos quadrangulares, localizados ao redor da piscina central, localizados à direita na implantação. O bangalô é composto por quatro cômodos com pia e banheiros, e uma varanda (Fig. 4).

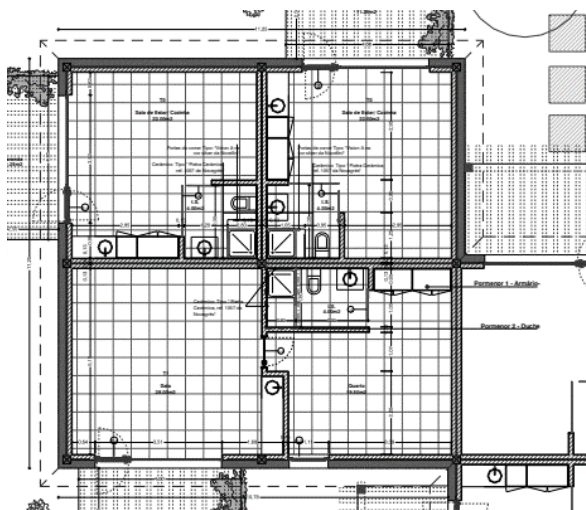


Fig. 4: Planta do bangalô. Fonte: [19].

Em Angola, assim como em Portugal, não há regulamentação normativa para produção de blocos de tijolo ecológico. Assim, a avaliação do solo não é feita baseada em predeterminada curva granulométrica, suscitando oscilações nas quantidades de cimento e dosagens como um todo [20]. Após feita a seleção do solo e definidos os teores de cimento (CP II), ocorre a peneiração do solo em um crivo com uma malha de 8 a 10 mm seguida da adição de cimento na proporção escolhida (1:6 para uma parte de cimento em seis de solo). A água é adicionada de forma arbitrária até atingir a conquistância desejada. A fim de prever um mecanismo simples de teste para aferimento da qualidade da mistura, é feito um teste da queda. Martins (2011) explica:

“[...] teste da queda, que consiste em fazer uma bola de solo na mão e deixá-la cair a partir da altura da cintura: Se a bola se espalhar em pequenos pedaços significa que o solo está muito seco; quando a bola se parte em cinco ou seis torrões significa que contém a quantidade de água certa; se não se partiu ou só alguns bocados se espalharem significa que contém muita água. Após feita a prensa da mistura, os blocos

são curados durante 7 dias. Após, é aplicada proteção de verniz ou tinta, aumentando a durabilidade do material.”

Para a construção dos bangalôs, foi utilizada argamassa de assentamento ao traço volumétrico 1:5, incluindo chapisco com argamassa de cimento e areia ao traço volumétrico 1:3 e reboco com 2 cm de espessura com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5. Como não há um controle de qualidade, a proporção e desempenho comum pode haver variações. A proporção média para fabricação dos blocos, que foram feitos em moldes de prensa da Hydraform, marca sul-africana dominante no setor, é de 5% de cimento CP II, atingindo resistência a compressão de 5,5 MPa, com traço volumétrico de 1:16 (cimento:solo). O teor de água acrescentado foi de 9,15% em relação à mistura. As dimensões do bloco se fixaram em 140 mm x 115 mm x 240 mm para execução de paredes internas, e 220 mm x 115 mm x 240 mm para paredes externas.

### 4.3 Eco-estudio em Fornos de Algodres (Portugal)

O Vale das Lobas é um complexo em meio natural, com serviços de spa, restaurante, camping e hotelaria de eco-homes, que se definem por habitações sustentáveis, produzidas com BTC (Fig. 5). Dentre as eco-homes oferecidas, estão os eco-estudios, eco-villas e eco-cottages. O eco-estudio conta com um pavimento térreo e mezanino, sendo composto por sala, cozinha, banheiro e dormitório, além de espaços externos de varanda e garagem (Fig. 6).

Os BTC são compostos por 8% (em volume) de cimento CP I em relação à mistura. A quantidade de terra é de 85%, com areia fina adicional em 15% e 9,5% de água. Os blocos são prensados e curados por 28 dias, quando atingem uma resistência à compressão de 5,37 MPa. As dimensões finais dos blocos se fixam em 295 mm x 140 mm x 90 mm [18].



Fig. 5: Interior da Eco-estudio, com destaque para BTC aparente. Fonte: [21].

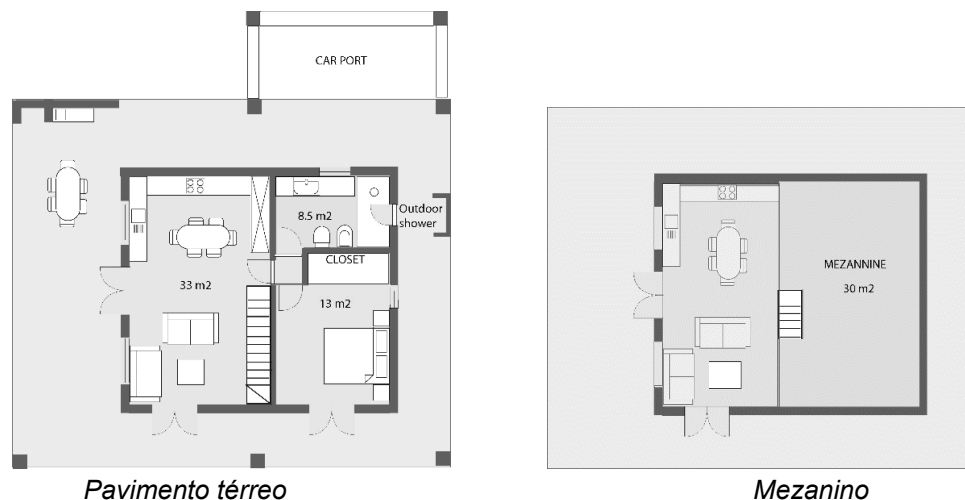


Fig. 6: Planta da Eco-estudio. Fonte: [21].

## 5. Análise de eficiência do cimento

### 5.1 Resultados

Na tabela 1 são identificados os dados relativos a dosagem dos blocos citados neste trabalho, a fim de serem, posteriormente, aferidos e investigada a eficiência da adição de cimento. O bloco utilizado no Estudo de Caso 1 é identificado como EC1, seguido do Estudo de Caso 2 por EC2 e o Estudo de Caso 3 por EC3.

**Tabela 1:** Dosagens em volume dos tijolos ecológicos.

Tijolo	Solo* (%)	Cimento* (%)	Areia adicional ao solo (%)	Água (%)	Resistência à compressão (MPa)
EC1	85,00	5,00	0,00	10,00	4,13
EC2	85,85	5,00	0,00	9,15	5,50
EC3	67,50	8,00	15,00	9,50	5,37

\*Os tipos de solo e cimento interferem diretamente no desempenho da mistura.

Para aplicação da Eq. (1) são extraídos os valores de ML e UDF. O valor de UDF se dá pelo dado de resistência à compressão, sendo medido em MPa. Para o valor de ML, é necessário converter a porcentagem do teor de cimento presente em cada mistura, para quilograma por metro elevado a menos três. Para a conversão, são adotados os seguintes valores:

**Tabela 2:** Conversão de porcentagem de cimento em unidade de massa.

Tijolo	Massa A (Kg)	Massa B (m <sup>3</sup> )	Massa C (m <sup>-3</sup> )
EC1	0,125	0,003717	269,03
EC2	0,125	0,006072	164,69
EC3	0,200	0,001953	512,03

\*Para efeito de cálculo, foram adotadas massas totais de mistura em 2500 g, representado pela média de volume estudado.

Para os valores encontrados na Tabela 2, o valor de ML foi convertido em unidade de kg, m<sup>3</sup> e m<sup>-3</sup>, uma vez que IL se dá kg.m<sup>-3</sup>. A fins de exemplo da aplicação, segue conversão do EC1.

Para o EC1, considerando massa de mistura total em 2,5 kg, em que 5% deste valor corresponde ao ligante cimento, representando 0,125 kg (massa A). O valor de massa da mistura distribuído em volume do tijolo é verificado pelas dimensões do bloco, sendo estas correspondentes a 250 mm x 125 mm x 62,5 mm. O volume do bloco representa o valor de 0,003717 m<sup>3</sup>. Para aplicação na Eq. 1, é necessário converter o valor de m<sup>3</sup> para m<sup>-3</sup>. Assim, o valor de m<sup>-3</sup> é expresso em 269,03, a partir da Eq. 2:

$$m^{-3} = 1 \div m^3 \quad (2)$$

Em que:

$$\text{Massa C.m}^{-3} = 1 \div 0,003717.m^3$$

$$\text{Massa C} = 269,03 \text{ m}^3$$

**Tabela 3:** Aplicação da Eq. (1) para as dosagens de EC1, EC2 e EC3, a partir do IL (Intensidade de Ligantes), ML (Teor ou massa de ligante utilizado) e UDF (Unidade de desempenho funcional).

Tijolo	ML* (kg.m <sup>-3</sup> )	UDF (MPa)	IL (kg.m <sup>-3</sup> .MPa)
EC1	33,62	4,13	<b>8,14</b>
EC2	20,58	5,50	<b>3,74</b>
EC3	102,40	5,37	<b>19,16</b>

A fins de exemplo de valores obtidos na Tabela 3, segue aplicação no EC1. A partir da Eq. 1, em que  $IL = ML \div UDF$ , têm-se:

$$IL = 33,62 \div 4,13$$

$$IL = 8,14 \text{ kg.m}^{-3} \cdot \text{MPa}$$

## 5.2 Análise de resultados

Aplicando a Eq. (1), os valores obtidos para IL dos blocos maciços do EC1, EC2 e EC3, são, respectivamente, 8,14, 3,74 e 19,16, medidos em kg.m<sup>-3</sup>.MPa. A eficiência do cimento está diretamente relacionada a grandeza do valor obtido. Assim, a eficiência identificada, em ordem crescente, é verificada pelos blocos de EC3, EC1 e EC2, em que foram utilizados cimentos dos tipos CP I, CP II E-32 e CP II, respectivamente. A superioridade da eficiência medida no BTC pode ser identificada, majoritadamente, pela adição de areia como agregado miúdo, somado a maior dosagem do teor de cimento quando comparado às misturas de EC1 e EC2. Assim, o desempenho do ligante está diretamente relacionado a sua dosagem e o tipo de cimento utilizado, somado a adição de componentes externos à mistura.

É válido salientar que os diferentes tipos de cimento inferem no resultado obtido, uma vez que os teores de clínquer incorporado aos tipos apresentam maior teor ligante. Para o CP II E-32, por exemplo, o cimento contem entre 6 a 34% de escória de alto forno. Já no CP I os teores de clínquer podem chegar a 95%.

A partir do conteúdo exposto, é avaliada a eficiência do cimento em acordo com os componentes presentes na mistura, em que quando há uso de agregados aquém ao uso exclusivo de solo e cimento, há aumento de eficiência do ligante utilizado. É interessante observar que, não necessariamente o valor de resistência à compressão



está relacionado a eficiência do cimento, uma vez que no EC2 há maior resistência, porém a eficiência de EC3 é maior.

## 6. Conclusões

Sendo o tijolo ecológico um produto de alta potencialidade de uso na construção civil, como uma alternativa aos produtos cerâmicos e blocos com alto teor de cimento incorporado, é imprescindível que estudos relativos a seu aprimoramento funcional sejam fomentados. É fato que a incorporação de ligante à base de cimento em blocos de terra auxilia no seu desempenho físico e mecânico. No viés, tendo vista a degradação ambiental a que a produção de cimento acomete a seu uso, práticas de melhoria de dosagem cimentícia em blocos com terra são necessárias à manutenção do uso sustentável do produto. Assim, a aplicação de indicadores que possibilitem acompanhar a real sustentabilidade do uso do produto são fundamentais para que a intencionalidade pretendida seja alcançada.

## Referência final

Este artigo foi realizado especificamente para o 5.º CIHEL e é autorizada a sua publicação nas respectivas atas do congresso.

## Referências Bibliográficas

- [1] JOHN V M. "On the sustainability of concrete." *UNEP Industry and Environment*. Paris, v. 26, n. 2-3, p. 62-63, abr-set. 2003.
- [2] instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Rio de Janeiro, 2022.
- [3] Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas (AICCOPN). Conjuntura da construção. 2024. Disponível em: <<https://www.aiccopn.pt/conjuntura-da-construcao-janeiro-2024/>>. Acesso em: jun. 2024.
- [4] SANTOS L dos. Angola vende 2,6 milhões de toneladas de cimento em 2023. *Forbes África Lusófona*, 2024. Disponível em: [https://www.forbesafricalusofona.com/angola-vende-26-milhoes-de-toneladas-de-cimento-em-2023/#:~:text=Angola%20vendeu%20pelo%20menos%20,\(AICA\)%2C%20Manuel%20Pacavira](https://www.forbesafricalusofona.com/angola-vende-26-milhoes-de-toneladas-de-cimento-em-2023/#:~:text=Angola%20vendeu%20pelo%20menos%20,(AICA)%2C%20Manuel%20Pacavira). Acesso em: ago. 2024.
- [5] BARRETO I. M. C. B. do N. Gestão de resíduos na construção civil. Sinduscon – Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo. Sergipe, 2005.
- [6] KEELER M.; BURKE B. Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis. Editora Bookman, 2010. p.362
- [7] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry. 6 Abr 2018. Disponível em: <https://www.wbcd.org/Sector-Projects/Cement-SustainabilityInitiative/News/Cement-technology-roadmap-shows-how-the-path-to-achieve-CO2-reductions-up-to-24-by-2050>. Acesso em: 23 de jan 2020.



- [8] DAMTOFT J. S. et al. Sustainable development and climate change initiatives. Cement and Concrete Research, New York, n. 38, p. 115-127, 2008.
- [9] MÜLLER N., HARNISCH J. (2008). How to turn around the trend of cement related emissions in the develop-ing world. WWF—Lafarge Conservation Partnership: Gland, Switzerland.
- [10] DIAS L de S. Tijolos mais que ecológicos. Blog Reciclos. Disponível em: <https://blogreciclos.wordpress.com/2016/09/05/tijolos-mais-que-ecologicos/>. Acesso em: 09, agosto, 2024.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Dosagem das Misturas de Solo-Cimento: Normas de Dosagem e Métodos de Ensaio. Estudo Técnico 35. 54p. São Paulo - SP: ABCP, 1986.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento. 2012. Rio de Janeiro, 2012.
- [13] PISANI M A J. Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento. In: SINERGIA. v.6. n.1. 2005. São Paulo, 2005. 53- 59p.
- [14] SALA L G., Proposta de Habitação Sustentável para Estudantes Universitários. 2006. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.
- [15] DAMINELLI, B L. Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.
- [16] ASSUNÇÃO, J W.; ROSSIGNOLO J A.; PUGLIA M E. Desempenho ambiental do concreto de cimento portland: avaliação do teor de ligantes e das emissões de CO2. IX Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura. Enteca 2013.
- [17] CACERES A I B, PASSARINI K., GACHET-BARBOSA L A., LINTZ R C C., RIBEIRO L C L. J., PIRES M S G., AVILA A E P. G. Bloco de terra comprimida (btc) produzido pela olaria ecológica comunitária de limeira-SP. Terra Brasil 2010. III Congresso de Aqrutetura e Construção com Terra no Brasil. Campo Grande, 2010.
- [18] EUPHROSINO C A.; FONTANINI P S. P. 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, 3., 2021. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1–6. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/tecsic/article/view/1315>>. Acesso em: 21 jun. 2024.
- [19] Art’Cittá. Guimarães, Portugal. Disponível em: <<https://www.artcitta.com/>>. Acesso em: ago. 2024.
- [20] MARTINS, V M V. Alvenaria Em Solo-Cimento Para Moradias Unifamiliares Em Angola. Dissertação de mestrado. Universidade do Porto. Porto, 2011.
- [21] Vale das Lobas. Sobral Pichorro, Portugal. Disponível em: <<https://ecohomes.valedaslobas.com/>>. Acesso em: ago. 2024.